

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

**Studium vlivu povrchové úpravy kovového  
substrátu pro aplikaci povlaku obsahující  
nanočástice**

(Study of the Influence Surface Treatment Metal Substrate  
for  
Application of the Coating Containing Nanoparticles)

Student:

Bc. Kateřina Suchánková

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....15.5.2010.....

Kateřina Suchánková.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : .....15.5.2010.....

Kateřina Suchánková

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Kateřina Suchánková

Adresa trvalého pobytu autora práce: Nerudova 793

783 91 Uničov

**ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

SUCHÁNKOVÁ, K.: *Studium vlivu povrchové úpravy kovového substrátu pro aplikaci povlaku obsahující nanočástice*, Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 85 s. Diplomová práce, vedoucí: Podjuklová, J.

Ve své diplomové práci se zabývám studiem vlivu povrchové úpravy kovového substrátu pro aplikaci povlaku obsahující nanočástice. V teoretické části práce byl popsán a prostudován charakter a vlastnosti povrchu, vhodné technologie úpravy substrátu před aplikací organických povlaků a organické povlaky samotné. V experimentální části byly porovnávány dva rozdílné typy povrchů ocelového plechu. Povrch otryskaný a válcovaný. Na tyto substráty byly nanесeny celkem tři druhy nátěrových systémů, kdy první byl klasický, na bázi alkydové pryskyřice a dvou zbylých systémů byl jako pigment vmíchán fosforečnan zinečnatý nebo-li také fosfát zinku ZP10. V jednom případě byly částičky pigmentu ve velikosti mikrometrů, v druhém případě se velikost částic pohybovala v nanorozměrech. Vzorky s nátěry byly podrobeny mřížkové a korozní zkoušce. Tyto výsledky byly zaznamenány, porovnány a vyhodnoceny.

**ANOTATION OF THESIS**

SUCHÁNKOVÁ, K. : *Study of the Influence Surface Treatment Metal Substrate for Application of the Coating Containing Nanoparticles*, Department of Mechanical Technology VŠB – Technical University of Ostrava, 2010, 85 p. Thesis, head: Podjuklová, J.

In my thesis i deal with study the impact of the coating metal substrates for application of the coating containing nanoparticles. The theoretical part has been described and studied the nature and properties of surface treatment technology suitable substrate prior to application of organic coatings and organic coatings themselves. In the experimental section were compared two different types of steel surfaces. Blast surface and rolled.

On these substrates were applied three kinds of paints, where the first was a classic, based on alkyd resins, and the two remaining systems were as incorporated as a pigment or zinc phosphate, zinc phosphate to the ZP10. In one case, the pigment particle size in microns in the second case the particle size was in the nano-scale. Samples were subjected to coating and corrosion test grid. These results were recorded, compared and evaluated.

## strana

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	10
1 ÚVOD .....	11
2 CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI POVRCHU .....	12
2.1 Definice povrchu.....	12
2.2 Mikrogeometrie povrchu .....	12
2.3 Smáčivost povrchu.....	13
2.4 Drsnost povrchu .....	14
3 PŘEDÚPRAVY POVRCHU MATERIÁLU PŘED APLIKACÍ POVLAKU .....	16
3.1 Mechanické úpravy povrchu.....	16
3.1.1 Otryskávání .....	16
3.1.2 Omílání .....	21
3.1.3 Kartáčování .....	21
3.1.4 Broušení .....	21
3.2 Chemické úpravy povrchu .....	22
3.2.1 Odmašťování.....	22
3.2.2 Moření.....	22
4 VLASTNOSTI A SLOŽENÍ ORGANICKÉHO POVLAKU, METODIKA NANÁŠENÍ .....	23
4.1 Složení nátěrových hmot.....	23
4.1.1 Fosforečnan zinečnatý – antikorozi pigment pro ekologické nátěrové hmoty .....	25
4.1.2 Vliv pigmentů a plniv s neizometrickou strukturou na „Bariérový efekt“ ..	26
4.2 Metodika nanášení nátěrových hmot .....	27
4.2.1 Technologie ručního nanášení nátěrových hmot ( nanášení štětcem ) .....	28
5 VADY V POVLAKU .....	29
5.1 Špatné zasychání nátěru .....	29
5.2 Hrubý, nečistý a zpěněný povrch.....	29
5.3 Puchýřky a zvedání nátěru .....	30
5.4 Krátery, dolíčky a póry .....	30

---

6 NANOTECHNOLOGIE A VLASTNOSTI POVLAKŮ NA BÁZI NANOČÁSTIC.....	31
6.1 Vlastnosti povlaků obsahující nanočástice .....	32
6.1.1 Samočisticí schopnost a snadné čištění.....	32
6.1.2 Odolnost proti oděru a poškrábání .....	33
6.1.3 Impregnace - odpudivost vody a olejů.....	33
6.1.4 Ochrana proti korozi .....	33
6.1.5 Odolnost proti plísním a bakteriím .....	33
6.1.6 Ochrana proti stárnutí materiálu .....	34
7 NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	35
8 POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ .....	36
8.1 Experimentální materiál.....	36
8.2 Příprava vzorků .....	37
8.2.1 Značení vzorků.....	37
8.2.2 Odmašťování povrchu vzorků .....	37
8.3 Nátěrový systém použitý pro experiment .....	38
8.3.1 Chemický rozbor mikročástic fosfátu zinku ZP10 .....	38
8.3.2 Chemický rozbor nanočástic fosfátu zinku ZP10 .....	39
8.4 Fotodokumentace vzorků určených k experimentálnímu měření .....	41
8.4.1 Vzorek otryskaný abrazivem 4VVD-4 – měděná struska.....	41
8.4.2 Vzorek válcovaný .....	42
8.5 Chemický rozbor povrchu vzorků pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu ( SEM mikroskopie ).....	43
8.5.1 Vzorek otryskaný abrazivem 4VVD-4 – měděná struska.....	43
8.5.2 Vzorek válcovaný .....	45
8.6 Stanovení čistoty otryskaného povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 .....	48
8.7 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3 .....	49
8.8 Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287 .....	50
8.8.1 Měření drsnosti na vzorcích otryskaných měděnou struskou 4VVD-4 .....	51
8.8.2 Měření drsnosti na vzorcích válcovaných.....	52
8.9 Aplikace nátěru na vzorky .....	53
8.10 Vytvrzování nátěrů.....	54
8.11 Kontrola tloušťky suché vrstvy dle ČSN EN ISO 2808 .....	54
8.12 Zkouška přilnavosti mřížkovou metodou dle ČSN ISO 16276-2.....	55

---

8.13 Korozní zkouška nátěrů dle ČSN EN ISO 9227 .....	59
8.13.1 Fotodokumentace vzorků s nátěry na počátku a na konci cyklu korozní zkoušky .....	61
8.13.2 Vyhodnocení degradace nátěrů .....	65
9 HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK A DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ .....	67
9.1 Hodnocení povrchu základního materiálu .....	67
9.1.1 Odmašťování a čistota .....	67
9.1.2 Chemický rozbor povrchu vzorků .....	67
9.1.3 Drsnost povrchu vzorků .....	68
9.2 Hodnocení povlaků .....	71
9.2.1 Mřížková zkouška .....	71
9.2.2 Korozní zkouška .....	74
10 ZÁVĚR .....	76
11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	78
12 SEZNAM PŘÍLOH .....	83



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČSN	- česká státní norma.....	[-]
EN	- evropská norma .....	[-]
ISO	- mezinárodní norma.....	[-]
Ra	- průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu .....	[μm]
Rz	- největší výška profilu .....	[μm]
Rq	- střední kvadratická úchylka profilu .....	[μm]
Rp	- největší výška výstupků profilu .....	[μm]
Rv	- největší hloubka prohlubní profilu .....	[μm]
Rsk	- šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) .....	[-]
Rku	- špičatost posuzovaného profilu.....	[-]
$\lambda_s$	- filtr, který definuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu.....	[mm]
$\lambda_c$	- filtr, který definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitostí .....	[mm]
$\lambda_f$	- filtr, který definuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu.....	[mm]
$\Theta$	- kontaktní úhel .....	[°]
Sa	- normalizovaný stupeň čistoty povrchu: otryskávání .....	[-]
ZP10	- obchodní označení pigmentu fosfátu zinku .....	[-]
O	- kyslík.....	[-]
Mg	- hořčík.....	[-]
Al	- hliník.....	[-]
Si	- křemík.....	[-]
Ca	- vápník.....	[-]
Fe	- železo .....	[-]
Zn	- zinek .....	[-]
Wt	- váhové množství .....	[%]

## 1 ÚVOD

Povrchové úpravy se staly nedílnou součástí výrobních procesů již při výrobě polotovarů určených pro další zpracování. Na začátku každého procesu povrchové úpravy stojí předúprava povrchu, jenž je důležitou součástí celého nátěrového systému. Je na místě připomenout, že předúprava povrchu má významný vliv na přilnavost barvy k povrchu součásti, podílí se na celkovém vzhledu, odolnosti a životnosti laku.

Z celé řady způsobů předúpravy povrchu vystupuje do popředí otryskávání jako vhodná technologie, kterou je možné připravit povrch požadované jakosti. Tím se rozumí kromě čištění povrchu základního materiálu i dosažení vhodné mikrogeometrie a fyzikálních respektive fyzikálně - chemických vlastností povrchu. V praxi se technologie otryskávání využívá v širokém rozsahu. Typickými aplikacemi otryskávání je předúprava povrchu pod anorganické a organické povlaky.

Ochranné nátěrové systémy tvoří celosvětově nejméně 85% všech systémů protikorozní ochrany. Poskytují protikorozní ochranu především bariérovým způsobem. Základem každé nátěrové hmoty je pojivo – dlouhé lineární či rozvětvené řetězce přírodních nebo syntetických olejů a pryskyřic, jenž jsou po vytvrzení schopné vytvořit tenký souvislý film a přilnout k podkladovému materiálu. Mezi podkladem a okolím vytvoří bariéru, která omezuje přístup vody a agresivních složek z okolního prostředí k podkladovému materiálu. Ochranný účinek nátěrového systému zvyšuje přítomnost antikorozních pigmentů .

Vývoj těchto pigmentů dnes směřuje k nahrazení klasických antikorozních pigmentů na bázi olova a chromanů za netoxické a ekologické pigmenty. Ke splnění požadavků antikorozní ochrany se nabízí mnoho aktivních pigmentů. Jeden ze zastupitelů je fosforečnan zinečnatý, který dnes řadíme mezi nejrozšířenější netoxické antikorozní pigmenty. Předmětem zkoumání je též velikost částic přidávaného pigmentu, která podstatně ovlivňuje antikorozní vlastnosti nátěrů. Například částice v nanorozměrech se jeví v nátěrech jako výhodné, avšak přináší i nevýhody, jako je například tzv. shlukování částic v nátěrové hmotě. Jelikož není tato oblast povrchových úprav ještě zcela prozkoumána, ubírají se vývoje a výzkumy tímto směrem.

## 2 CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI POVRCHU

V současné době stoupá důraz na jakost, životnost, technickou úroveň a co víc na vzhledovou stálost strojírenských výrobků. Z pohledu spolehlivosti a životnosti každé součástky má zvláštní význam jejich povrch. Vlastnosti povrchové vrstvy a základního materiálu jsou obvykle odlišné a tyto části jsou rozdílně namáhané. Povrchové vrstvy bývají často zdrojem poruch, které se pak šíří do celého objemu. [12]

### 2.1 Definice povrchu

Samotný povrch hodnotíme jako obálku makroskopického objektu, která utváří hranici mezi základním materiálem a okolím. Povrch objektu definuje jeho vzhled a tvoří rozhraní mezi dvěma fázemi.

U větších objektů s malým poměrem povrchu ke svému objemu jsou fyzikální a chemické vlastnosti povrchu určeny zejména vlastnostmi základního materiálu. Analogicky u malých objektů s velkým poměrem povrchu k objemu jsou vlastnosti značně ovlivněny povrchem. Vlastnosti povrchu nejsou zdaleka závislé pouze na funkční vrstvě, která tvoří rozhraní, ale také na oblasti směřující pod povrch.[7]

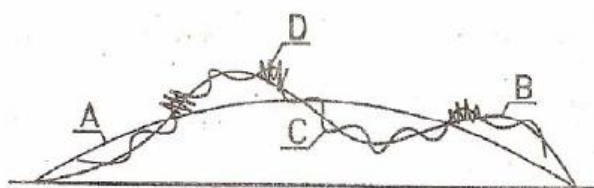
Tab. 1 Rozdělení oblastí povrchu [7]

Oblast	Rozměr	Funkční ovlivnění
Horní vrstva	0,1 nm	Adsorpce, chemická reaktivita
Tenký film oxidace	0,1 ÷ 100 nm	Odrazivost, tření, koroze, tepelná vodivost
Vnější povrchová vrstva	0,1 ÷ 10 μm	Deformace struktury
Celková vrstva	> 100 μm	Adheze, nátěry

### 2.2 Mikrogeometrie povrchu

Žádný z povrchů není geometricky dokonale rovinný, zvláště pak povrchy technické. Nerovnosti vznikají při přípravě povrchu. Mohou být také důsledkem působení vnějších sil nebo prostředí. Standartně rozlišujeme čtyři druhy nerovností, viz Obr. 1 [1]:

- **mimořádné nerovnosti (makronerovnosti)** - jedná se o trhliny, náhodné nerovnosti odlitků a výkovků, nepravidelné rýhy (A),
- **vlnitost povrchu** – jde o periodicky opakující se nerovnost, která vzniká hlavně při obrábění chvěním stroje, nástroje a obráběné součásti (B),
- **drsnost povrchu (mikronerovnost)** - pravidelně se opakuje a je podmíněná technologickým pochodem (C),
- na mikronerovnost se ještě superponují **ultramikronerovnosti**, které jsou dány snahou dosáhnout nejstabilnějšího stavu krystalického povrchu (D).

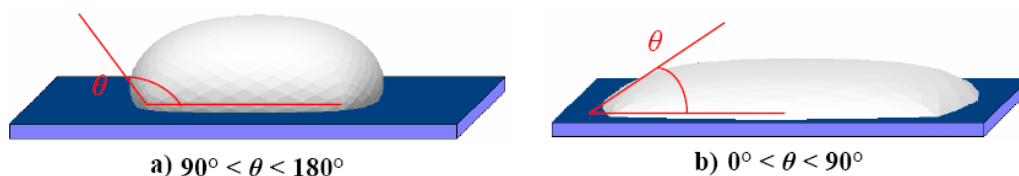


Obr.1 Schéma nerovností povrchu různého druhu [1]

Jakákoliv mechanická příprava povrchu ovlivňuje krystalickou mřížku i do hloubky a vede k velmi složitým jevům. Změny v povrchových vrstvách nastávají i při opracování. Například u obrábění kovů nelze zanedbat směry probíhající v povrchové vrstvě materiálu. Dle podmínek obrábění se liší vlastnosti povrchové vrstvy. Jedná se především o drsnost povrchu, stupeň deformace zrn v povrchové vrstvě, vznik tlakových a tahových napětí atd.[1]

## 2.3 Smáčivost povrchu

Definujeme ji jako vlastnost kapaliny přilnout k povrchu některých pevných látek. Smáčivost je velice důležitá pro zajištění dobré adheze povlaku k substrátu. Zajišťuje také kvalitní očištění povrchu a rovnoměrné pokrytí povrchu nátěrovou hmotou. [10] Z obr.2 lze odhadnout, že vysoká hodnota kontaktního úhlu  $\theta$  odpovídá povrchu s nedostatečnou snášivostí, naopak nízká hodnota kontaktního úhlu  $\theta$  vypovídá o povrchu dobře smáčeném.



Obr.2 a) Nesmáčivý povrch b) Smáčivý povrch [15]

## 2.4 Drsnost povrchu

Stav povrchu před aplikací nátěru je dán hlavně dvěma parametry – čistotou (včetně korozních změn) a drsností povrchu. Jedním ze základních způsobů posuzování kvality povrchu je měření drsnosti povrchu.

Drsnost povrchu je vyhodnocována ze sledované plochy povrchu a je pak většinou charakterizována pomocí veličin daných normou ČSN EN ISO 4287. [33]

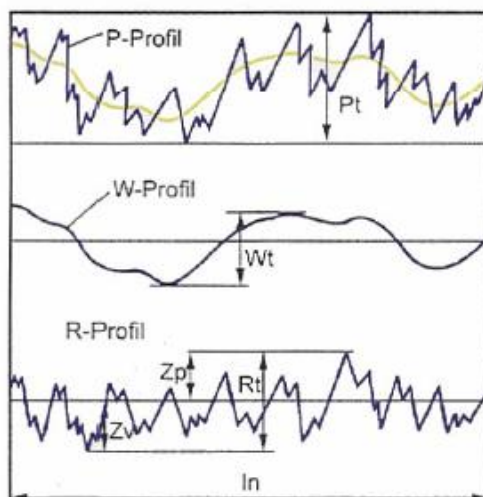
Základní parametry drsnosti [33]:

Profil povrchu (viz obr. 3) :

- základní profil ( P profil – primary profil ) – profil vznikl jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny,

- profil vlnitosti ( W profil – waviness profile ) – profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu  $\lambda_f$  a filtru profilu  $\lambda_c$  na základní profil, potlačující dlouhovlnné složky filtrem profilu  $\lambda_f$  a krátkovlnné složky filtrem profilu  $\lambda_c$ ,

- profil drsnosti ( R profil – roughness profile ) – profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu  $\lambda_c$ .



Obr.3 Profil povrchu [33]

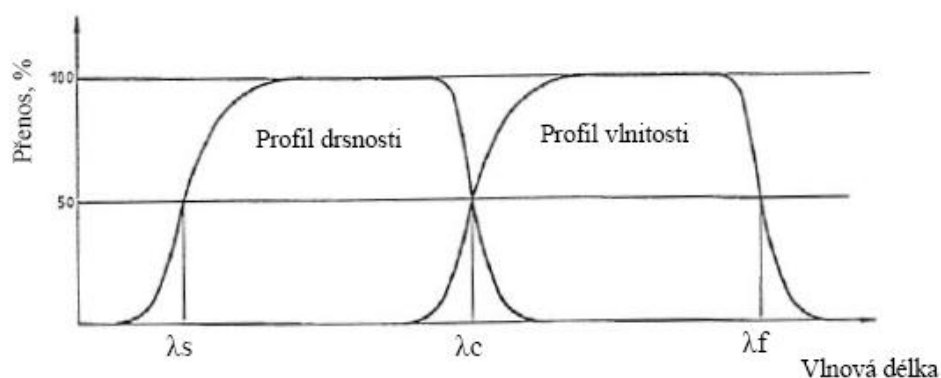
Při hodnocení sejmutého profilu formou číselných hodnot parametrů struktury povrchu se uplatňují základny tvořené použitým typem filtru. Ten nám slouží k oddělení frekvenčních složek nerovností profilu. Jedná se o složky signálu různých vlnových délek. Ty přísluší základnímu profilu, profilu vlnitosti a profilu drsnosti. ( viz obr. 3) [4]

Základním prvkem prostředků na měření parametrů struktury povrchu je filtr profilu (filtr rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky).

$\lambda_s$  filtr profilu – filtr, který definuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu,

$\lambda_c$  filtr profilu – filtr, který definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti,

$\lambda_f$  filtr profilu – filtr, který definuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu.



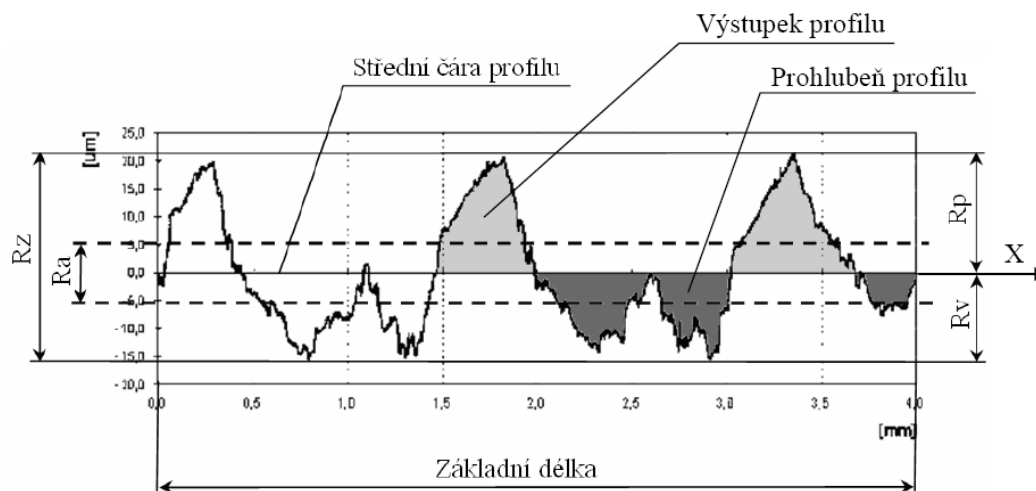
Obr. 4 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [4]

**Ra** – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]

**Rz** – největší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]

**Rp** – největší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ]

**Rv** – největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]



Obr. 5 Příklad profilu drsnosti [4]

### 3 PŘEDÚPRAVY POVRCHU MATERIÁLU PŘED APLIKACÍ POVLAKU

Před aplikací povlaku na povrch kovových materiálů se můžeme setkat s různými nečistotami. Jsou to např. nečistoty vázané k povrchu mechanicky (mastnoty, zbytky past, mazadel, prach atd.) nebo nečistoty vázané chemicky (oxidy, rez, okuje atd.) Tyto nečistoty velice znesnadňují nebo dokonce znemožňují provedení povrchových úprav a snižují jejich kvalitu. Z tohoto důvodu musí být z povrchu materiálu co nejlépe odstraněny. Metody povrchových úprav, které nám toto umožní, řadíme do dvou základních skupin a to:[3]

- Mechanické úpravy povrchu
- Chemické úpravy povrchu

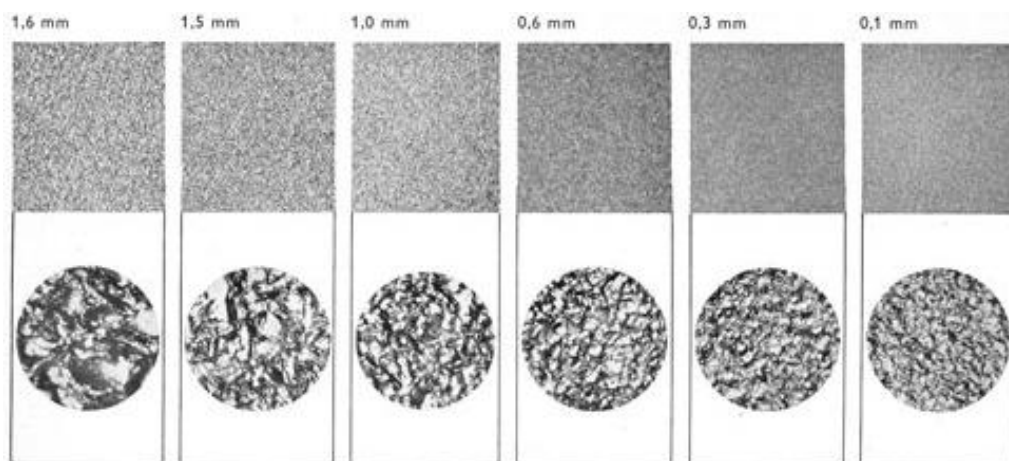
#### 3.1 Mechanické úpravy povrchu

Předběžnými mechanickými úpravami povrchu nedodáváme předmětu přesný, výkresem stanovený tvar a rozměr (jako u třískového obrábění), ale vytváříme určitou požadovanou jakost a kvalitu povrchu (obvykle hodnocenou drsností). Účelem mechanických úprav je především [4]:

- odstranit z povrchu nečistoty,
- zajistit podmínky pro vyhovující přilnavost povlaku,
- vytvořit podmínky pro zvýšení korozní odolnosti ,
- vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům,
- zlepšit mechanické vlastnosti povrchu.

##### 3.1.1 Otryskávání

Technologie otryskávání patří do skupiny mechanických úprav povrchu základního materiálu. Otryskávací prostředek je vrhán značnou rychlostí proti povrchu tryskané součásti. To vyvolá v povrchových vrstvách kvalitativní změny, přičemž vzniká charakteristická morfologie povrchu. Z pohledu uspořádání nerovností patří otrýskaný povrch do skupiny neorientovaných – izotropních povrchů. Charakter těchto povrchů je dán zejména tvarem použitého zrna otryskávacího prostředku. Na mikrogeometrii má také vliv tvrdost, zrnitost, druh materiálu a hmotnost zrna.[3]



Obr.6 Vliv velikosti otryskávacího prostředku na dosaženou drsnost povrchu [34]

Velmi důležitou úlohou při samotném otryskávání je volba vhodného otryskávacího prostředku. Otryskávací materiál je volen dle druhu upravovaného povrchu, stupně znečištění, dle tloušťky stěn předmětu atd. Tam, kde se vyžaduje recyklace otryskávacího materiálu se používají otryskávací materiály s dlouhou životností (především kovové). Kde se uplatní především jednorázové použití, použijeme nekovové otryskávací prostředky minerálního původu. [12] Jako otryskávací materiál se nejvíce používá:[9]

- **ocelová drť** – (G - ocelová ostrohranná drť se vyrábí drcením speciálně tepelně upravených zrn granulátu o větším průměru. Používá se pro čištění a úpravu povrchu. Vyrábí se ve třech různých tvrdostech GP, GL, GH ) [35]



Obr.7 Ocelová drť [36]

- **litinová drť a broky** – ( vyrábí se granulací litiny, má dobrou úběrovou schopnost i trvanlivost - 60x vyšší než křemičitý písek, hospodárnější a hygieničtější, používá se do tlaku 0,7 MPa )





*Obr.8 Litinový granulát a litinová drť [36]*

- **křemičitý písek** - ( je levný, má malou úběrovou schopnost, třísť se, nebezpečí vzniku silikózy, použití do tlaku 0,3 MPa ). Od tohoto otryskávacího média se upouští, protože je zdraví nebezpečné. Pracovník musí být dobře chráněn, aby nevdechoval tento písek, protože křemík se usazuje na plicích a zapříčiňuje vznik silikózy.



*Obr.9 Křemičitý písek [37]*

- **sekaný drát** - ( nejpevnější - patentovaný drát 160 MPa, neštěpí se, 5x dražší než litinová drť, méně opotřebovává metací kola )



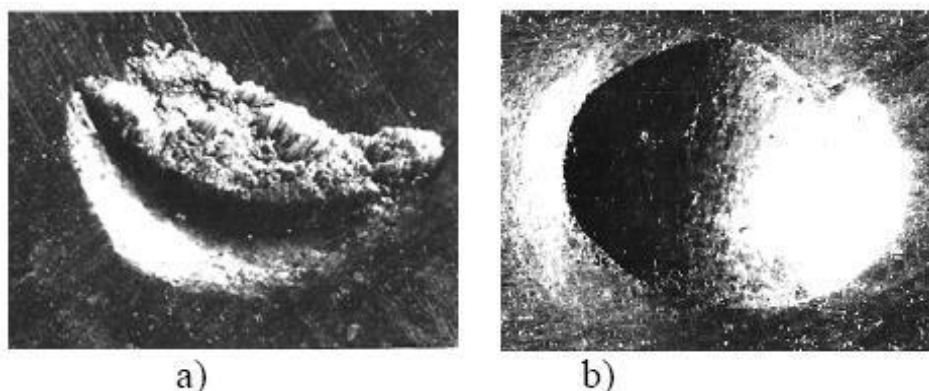
*Obr.10 Sekaný drát [36]*

- **umělé a speciální materiály** - ( např. drť z pecek a plastických hmot, skleněné kuličky ( balotina ) – umožňuje vyhlazování, snížení drsnosti )

- **brusiva** - ( karbid křemíku, korund - ostřejší zrno, stejnoměrnější a trvanlivější než křemičitý písek )

Otryskávání je užíváno jako velice produktivní způsob čištění a přípravy povrchu pod nátěry, smalty, žárové nástřiky kovů a keramických materiálů. Patří mezi nejúčinnější mechanické způsoby odstraňování rzi a okují z povrchu hutních výrobků, ale i rozměrných konstrukcí.[9]

Při použití ostrohranných otryskávacích částic vznikají na povrchu záseky různě orientované a povrch není zcela rovnoměrný. Otryskávací částice kulovitěho tvaru utvářejí rovnoměrný povrch s kulovitými vrcholky (viz obr.11). U těchto částic je nevýhodou, že můžou nečistoty zatlačovat do povrchu součástí. Dochází zde také ke zpevnění povrchových vrstev materiálu, což má za následek lepší mechanické vlastnosti povrchu a větší odolnost proti korozi.[11]



*Obr.11 Detail povrchu po dopadu otryskávacího prostředku a) ostrohranný otryskávací prostředek b) granulát [13]*

Je-li otryskávání provedeno nevhodně, zkrátí se životnost nátěru důsledkem přílišného zdrsnění povrchu. To způsobí prostupování vrcholků nerovností nátěrem. Nad vrcholky je poté nanesena jen nepatrná vrstva nátěru a v těchto místech pak dochází k poškozením nátěru rzi. Ihned po otryskávání by měl být nanášen nátěr, neboť takový povrch rychle reaguje s okolím a vytváří se na něm oxidická vrstvička. [14]

### 3.1.1.1 Nové směry v čištění povrchu – Otryskávání suchým ledem

Otryskávání pomocí suchého ledu, nebo-li také Cryoclean, je možno označit za revoluční a progresivní metodu otryskávání. Otryskávacím médiem jsou v případě této technologie pelety suchého ledu. Pelety jsou vyráběny z kapalného oxidu uhličitého, ten se pak přemění na sníh a následným protlačením přes matrici vznikají pelety o průměru 3 mm a délce 8 mm. Metoda je velmi efektivní, rychlá a v první řadě ekologicky nezávadná. Jde tak o vhodnou alternativu mechanických i chemických způsobů čištění průmyslových zařízení a technologií.[21]



*Obr.12 Pelety suchého ledu a zařízení pro technologii Cryoclean [21]*

Technologie Cryoclean má hned několik výhod. Granule suchého ledu při kontaktu s čištěným povrchem okamžitě sublimují a na povrchu součástí nezanechávají žádné stopy. Otryskávání suchým ledem neprodukuje žádný sekundární odpad. Při čištění nedochází ke vzniku toxických látek a není nutno užívat žádných podpůrných chemikálií. Suchý led navíc díky své sublimaci šetří náklady spojené s odstraněním zbytků otryskávacího média z povrchu součástí. [21]

Tato metoda nepůsobí abrazivně, protože pelety suchého ledu jsou křehké a jejich tvrdost je zhruba stejná jako tvrdost sádry. Díky tomu jimi lze čistit povrchy náchylné na poškození, kde nelze vzhledem k abrazivním účinkům použít ostatní tryskácké prostředky. Tento fakt značně prodlužuje životnost čištěných ploch, protože při čištění nedochází k jejich opotřebení. [21]

### **3.1.2 Omílání**

Tento mechanický způsob úpravy povrchu spočívá v úběru materiálu a jeho vyhlazování účinkem vzájemného působení omílaných výrobků a omílacích prostředků. Omílání je vhodné zejména pro zpracování velkých sérií drobných tvarově náročných součástek (např. bižuterie, špendlíky atd.). Pomocí omílání lze řešit mnoho technologických požadavků jako je odstraňování otřepů a zaoblování hran, vyhlazování povrchu, jeho leštění a další.[9]

### **3.1.3 Kartáčování**

Kartáčováním lze provádět dvě základní úpravy povrchu. Jednak slouží k odstraňování hrubých nečistot, jako je rez, starý nátěr apod. Lze ho také užít ke zjemnění povrchu před leštěním a pro dosažení stejnoměrného vzhledu. V prvním případě, tedy při odstraňování hrubých nečistot, se používají kartáče s ocelovými dráty. V případě matové úpravy povrchu se užívá kartáčů s jemnými dráty, např. mosaznými. Pro zjemnění povrchu před leštěním užijeme kartáče s přírodními nebo umělými vlákny (např. sisal, silon, žíně), které jsou mazané brusnými pastami.[3]

### **3.1.4 Broušení**

Broušení se vyznačuje postupným úběrem materiálu a následným odstraněním hrubých nerovností povrchů (švy odlitků, výkovků, rýhy atd.). Hrubování neboli hrubé broušení se provádí za sucha brusivem o zrnitosti 24 až 100. Při jemném broušení (vyhlazování - zrnitost 120 až 240) se brusné kotouče přimazávají kvůli snížení tření a k dosažení jemnějšího povrchu. Předlešťováním (zrnitost 280 až 500) docílíme výchozího povrchu pro leštění látkovými kotouči. [9]

### 3.2 Chemické úpravy povrchu

Princip chemických úprav povrchu je založen na chemické reakci činidel s nečistotami. Mezi základní a nejpoužívanější metody chemické úpravy povrchu patří:[11]

- Odmašťování
- Moření

#### 3.2.1 Odmašťování

Na ocelovém povrchu se mimo okují vyskytují i různé mastnoty a nečistoty, které znesnadňují zakotvení nátěru na kovovém povrchu. Působí také nepříznivě na průběh zasychání nátěru. Pro odmaštění užíváme různé odmašťovací prostředky na vodné bázi. Kde se provádí odmašťování jen zřídka, je možné použít technický benzin. Při odmašťování nových konstrukcí a svařenců je potřeba se zaměřit na očištění svarů a jejich okolí do vzdálenosti 10-15 cm od svaru. Tato místa totiž mohou vykazat v krátké době, po vystavení koroznímu prostředí, první známky korozního poškození.

Odmašťování dělíme dle použitého odmašťovacího prostředku na odmašťování : [20]

- v alkalických roztocích
- v organických rozpouštědlech
- elektrolytické
- v neutrálních roztocích
- emulzní
- opalem

#### 3.2.2 Moření

Mořením máme na mysli odstraňování korozních produktů z povrchu kovů chemickým nebo elektrochemickým způsobem. Při moření se nejvíce užívá kyselin a kyselých solí, v menší míře pak alkalických činidel. S mořením se setkáváme nejvíce u ocelí a litin, kdy se odstraňují okuje a rez. [9]

Nevhodně provedené moření, především operace po moření, může být také příčinou poškození nátěrů. Po samotném moření se na povrchu vyskytuje spousta kyselin a solí a tyto látky se musí z mořeného povrchu před aplikací nátěru odstranit oplachem vodou. Je-li oplach nedostatečný, nátěr ztrácí svoji životnost.[14]

## 4 VLASTNOSTI A SLOŽENÍ ORGANICKÉHO POVLAKU, METODIKA NANÁŠENÍ

Organické nátěrové hmoty jsou nejstarším, nejužívanějším a stále nejekonomičtějším prostředkem ve všech průmyslových odvětvích. Tvoří až 90 % všech povlaků. Organický povlak lze definovat jako systém tvořený polymerní matricí, která vzniká chemickou reakcí dvou či více složek, pigmenty a plnivy. Dalšími složkami systému jsou aditiva, které zabezpečují požadované vlastnosti systému. Tyto nátěrové systémy mají poměrně vysoký ochranný účinek a snadno se vytvářejí. Jejich aplikace nevyžaduje složitá a komplikovaná zařízení, nejsou omezená tvarem a velikostí výrobku, nátěry jsou poměrně dobře opravitelné. Hlavním účelem používání nátěrových hmot je ochranný účinek proti povětrnostním vlivům, mořské vodě atd. Důležité jsou však i další specifické funkce jako např. dekorativní, signální, maskovací, svítící, matovací a jiné. [9]

### 4.1 Složení nátěrových hmot

Základem každého organického povlaku je nátěrová hmota. Nátěr je definován jako souvislý povlak požadovaných vlastností vzniklý nanesením a zaschnutím jedné nebo několika nátěrových vrstev na upravovaném substrátu. Dle počtu nanesených vrstev se rozeznávají nátěry jedno a vícevrstvé. Ty pak dělíme do skupin podle vlastností a účelu, vzhledu a pořadí v nátěrovém systému. Jsou to např. napouštěcí nátěry, základní barvy, tmely, podkladové barvy, vrchní barvy a emaily apod.[9]

Nátěrové hmoty se dělí na:[3]

1. transparentní – průhledný nátěrový film ( lak nebo fermež)
2. pigmentové – neprůhledný film ( email, tmel, barva )

Základními složkami nátěrových hmot jsou:[3]

- **filmotvorné složky ( pojiva )** - jsou to většinou netěkavé organické látky, které mají schopnost po zaschnutí vytvářet tuhý souvislý film a jsou schopny vázat dispergované částice pigmentu a plniv v zaschnutém filmu. Kombinací různých filmotvorných látek často docílujeme požadovaných vlastností nátěru.

Mezi filmotvorné látky patří vysychavé oleje, přírodní a umělé živice, asfalty atd. Pojiva mají zásadní vliv na některé vlastnosti nátěrového filmu, jako je propustnost, lesk, přilnavost, pružnost, tvrdost a chemickou odolnost.

- **těkavé složky ( rozpouštědla )** - slouží k rozpuštění filmotvorných látek. Funkční úloha těkavých látek je úprava viskozity (konzistence) nátěrové hmoty. Tím se umožní nanesení nátěrové hmoty na povrch. Je nežádoucí, aby zbytky těkavých složek zůstaly v nátěrovém povlaku, snižuje se tak jeho odolnost především proti působení kapalného agresivního prostředí. Mezi nejběžněji užívané rozpouštědla patří benzíny, alkoholy, ketony terpentýnové silice a jiné.
- **pigmenty** – dodávají nátěrovému filmu zbarvení a neprůhlednost. Pigmenty také omezují stárnutí nátěrů a zvyšují jejich tepelnou a korozní odolnost. Jsou to organické nebo anorganické částice, které jsou jemně rozptýleny v pojivě. Dle jejich funkce při ochraně proti koroznímu napadení rozdělujeme pigmenty do tří skupin :[6]
  - *inhibitorové pigmenty* (suřík olovnatý, zinková žluť, zinkový prach, olovičitan divápenatý, suboxid olova)
  - *neutrální pigmenty* (chroman olovnatý, titanová běloba, zinková běloba, oxid železitý, hliníkový bronz, slída)
  - *stimulující pigmenty* (grafit, saze, některé oxidy železa)



Obr.13 Uhlíková čern – saze využívané jako pigment [38]

- **plnidla** - jedná se o velice jemné minerální látky (těživec, mastek, křída, vápenec, kaolín), které jsou nerozpustné v pojivech. Plnidla příznivě upravují technologické vlastnosti nátěrového povlaku, např. zabráňují smršťování filmu po zaschnutí.
- **aditiva** - jsou to přísady do nátěrových hmot, které obsahují vysychavé oleje. Patří jsem různá sušidla, emulgátory, stabilizátory, zvláčňovadla a jiné. Užívají se při výrobě fermeží, olejových a glyptalových nátěrových hmot. Základní složkou je tzv. kovové mýdlo nebo jeho roztok v organickém rozpouštědle.

#### 4.1.1 Fosforečnan zinečnatý – antikorozi pigment pro ekologické nátěrové hmoty

Antikorozi pigmenty lze definovat z hlediska jejich funkce inhibitoru koroze jako látky, které po přidání do korozi prostředí v malé koncentraci snižují rychlost koroze. Mezi tradiční antikorozi pigmenty patřily v minulosti sloučeniny na bázi olova a šestimocného chrómu. Tyto látky sice mají vynikající účinnost při ochraně kovového podkladu před korozi, avšak dnes jsou již považovány za látky toxické. Použití těchto toxických antikorozi pigmentů se z tohoto důvodu omezilo a začal vývoj dalších pigmentů, jejichž antikorozi účinnost je srovnatelná i za předpokladu jejich zdravotní nezávadnosti. Jedním ze zástupců je např. fosforečnan zinečnatý, který dnes řadíme mezi nejrozšířenější netoxické antikorozi pigmenty. [17]

Jak již bylo řečeno, pro antikorozi nátěrové hmoty se v dnešní době nejvíce užívá z pigmentů na bázi fosforečnanů fosforečnan zinečnatý. Ten se svými antikorozi vlastnostmi přibližuje inhibičně účinným chromanovým pigmentům. Princip inhibičního efektu fosforečnanu zinečnatého, ale i ostatních fosfátových pigmentů, je založen na působení vlhkosti. Dochází pak k pomalé postupné hydrolyze fosfátu, přičemž vzniká hydroxid zinečnatý a sekundární fosfátové ionty. Tyto ionty mají schopnost vytvářet ochranné vrstvy - zejména v anodické oblasti koroze. [17]

Pro antikorozi účinky fosforečnanu zinečnatého je velice důležitá krystalová voda, pomocí které pigment vytváří komplexní heterokyseliny, které reakcí s hydroxylovými nebo karboxylovými skupinami pojiva a povrchem kovu (Fe) tvoří těžce rozpustné inhibiční komplexy. [17]

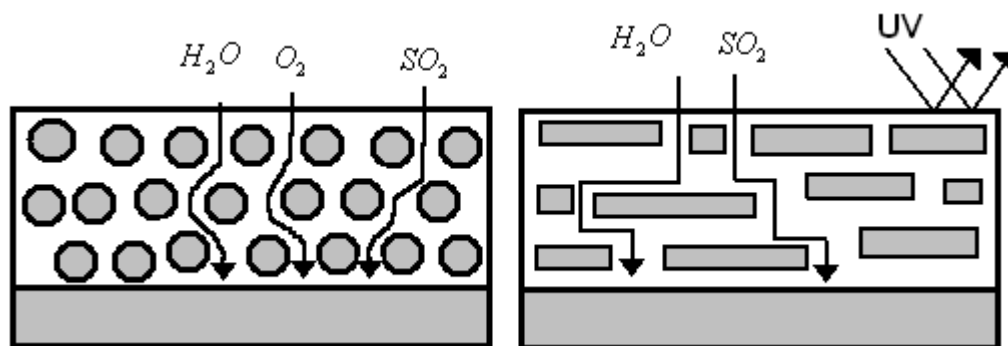


#### 4.1.2 Vliv pigmentů a plniv s neizometrickou strukturou na „Bariérový efekt“

Pigmenty a plniva nemají v nátěrové systému pouze roli nositele optických vlastností, ale mohou plnit i ochrannou funkci podkladu (obr. 14). Na bariérovém efektu se mohou podílet i použité inertní pigmenty a plniva. Částice tohoto typu musí vykazovat neizometrickou strukturu. Zaujímají v nátěrovém systému pozici souběžnou s povrchem substrátu a brání tak vodě a kyslíku v přímé cestě k podkladu. Pigment sám musí odolávat vlivům okolního prostředí a nesmí reagovat s pojivem [19].

Vhodným uložením a vyztužením neizometrických částic v nátěrovém filmu ve vrstvách se prodlužuje cesta pro penetraci iontů k podkladu a tím se zlepšují vlastnosti povlaku. Bylo zjištěno, že při uložení částic neizometrického pigmentu nebo plniva ve filmu se prodlouží dráha pro difuzi plynů a par na více než desetinásobek tloušťky filmu a tím se zpomalí koroze. Mimo jiné při zasychání nátěrového systému zaujmou destičky polohu souběžnou se substrátem a tím se podílí na zlepšení mechanických vlastností filmu. V neposlední řadě zabraňují přímému pronikání vlhkosti, kyslíku a agresivních iontů k podkladu a chrání pojivo před degradací UV zářením [19].

Bylo zjištěno, že velikost zinkových částic zásadním způsobem ovlivňuje antikorozi vlastnosti nátěrů. Lepších výsledků bylo dosaženo při použití menších zinkových částic v nátěru. Velké kulovité částice poskytují nižší antikorozi účinnost. Tento jev můžeme vysvětlit snazším vyplnění volných prostor mezi izometrickými částicemi zinku menších rozměrů. U větších částic je vyplnění pórů pomocí oxidu částečný a netěsnosti mohou vést ke snazšímu průniku kapalin a plynů filmem. [19]



Obr.14 Schéma difuze korozního média k podkladu vrstvou organického povlaku a odraz UV záření pigmentovaného izometrickými a neizometrickými částicemi plniva [19]

## 4.2 Metodika nanášení nátěrových hmot

Nanášení nátěrových hmot patří k velice důležitým faktorům, které výrazně ovlivňují jakost a životnost nátěrů. Je to pokrývání povrchu předmětů tenkými povlaky barev, laků a jiných hmot, které chrání povrch předmětů proti nepříznivým povětrnostním a jiným vlivům. V dnešní době je k dispozici mnoho technologií nanášení nátěrových hmot a při jejich volbě je nutné přihlédnout k různým důležitým aspektům jako např.: [3]

- velikost a tvar upravovaných předmětů,
- finální vlastnosti nátěru ( vzhled, tloušťka, korozní namáhání ),
- kvalita povrchu ( pórovitost, stupeň čistoty, předběžné úpravy ),
- vlastnosti nátěrových hmot ( rychlost zasychání, slévatelnost, měrná vodivost apod.),
- pracnost a ekonomie použití,
- dopad na životní prostředí.

Metody nanášení nátěrových hmot: [3]

- štětcem,
- navalováním,
- namáčením,
- poléváním,
- pneumatickým stříkáním,
- stříkáním ohřátých nátěrových hmot,
- vysokotlakým stříkáním,
- pomocí elektrických sil,
- elektroforézni,
- kataforézni.

V praktické části diplomové práce se vzorky budou natírat ručně – štětcem. Zaměřím se pro to detailněji na tuto metodu nanášení.

#### 4.2.1 Technologie ručního nanášení nátěrových hmot ( nanášení štětcem )

Je jednou z nejstarších metod nanášení nátěrových hmot na substrát. Metoda vyžaduje používání kvalitních přírodních nebo syntetických štětců, které jsou vzájemně kompatibilní (slučitelné) s nanášenou nátěrovou hmotou. I přesto, že tato metoda je relativně pomalá, je doposud nejpoužívanější. Používá se pro aplikaci nátěrů na malé plochy nebo všude tam, kde bychom jinými metodami nanášení nedosáhli potřebnou kvalitu. Výraznou výhodou této metody jsou minimální ztráty nátěrové hmoty, dále se při této aplikaci docílí dokonalá soudržnost se základním substrátem. Pro dosažení relativně stejné tloušťky nátěrového filmu je zapotřebí nanést opětovnou vrstvu nátěru, ten však musí být nanášen v opačném směru než původní, přičemž se požadují minimálně dvě vrstvy.



*Obr.15 Ukázka nanášení nátěru štětcem [40]*

## 5 VADY V POVLAKU

Před nanesením nátěrové hmoty je velice důležitá úprava chráněného povrchu. Je známo, že cca 70 % poškození nátěrů je způsobeno nekvalitně provedenou přípravou upravovaného povrchu. Povrch znečištěný mastnotami vykazuje pomalé zasychání nátěrů a brání jejich dokonalému zakotvení na kovovém povrchu. Stejně negativně působí i zbytky starých nátěrů, prach, korozní zplodiny atd. Nátěr aplikovaný na povrchu napadeném rží nezabrání průběhu koroze pod ním. Ve rzi je totiž dostatek vody (až 6 %) i zbytky solí pro vytvoření elektrolytu a následnému pokračování koroze pod nátěrem. Při navrhování a volbě ochrany daného základního materiálu pomocí nátěrových hmot z organických povlaků je třeba problém posuzovat komplexně. Ochranný povlak by měl být volen takovým způsobem, aby chránil výrobek proti korozi a klimatickým vlivům, zabezpečoval jeho provozní spolehlivost a životnost při nejnižších nákladech na celé období jeho „technického života“. [9]

### 5.1 Špatné zasychání nátěru

Nadměrná tloušťka nátěrové hmoty má rozhodující vliv na rychlost zasychání a na zhoršenou kvalitu filmu, zvláště pak u nátěrových hmot schnoucích na vzduchu (alkydové, olejové). Nanesená vrstva se rychle pokrývá tenkou povrchovou vrstvičkou, která zadržuje rozpouštědla uvnitř nátěru a brání přístupu vzdušného kyslíku. Tím se prodlužuje zasychání a nátěr je dlouho neschopný další manipulace, např. přetírání či broušení. Mohou se projevit i jiné vady, jako svažování, čeřítkování nebo stékání na svislých plochách. Nátěry jsou dlouho živé, při větším tlaku mazlavé a citlivé na mechanické poškození. Opožděné vytvrdnutí nátěru zvyšuje náchylnost povlaku ke znehodnocení vodou, vlhkostí, chemickými exhaláty i pevnými nečistotami. [40]

### 5.2 Hrubý, nečistý a zpěněný povrch

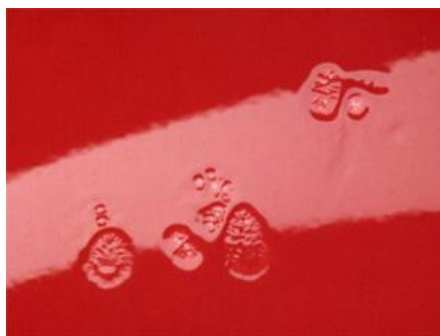
Pokud se v povlaku objeví tyto vady, je to důsledek přítomnosti vody na povrchu předmětu nebo v rozprašovacím vzduchu ze stříkacího zařízení, příp. použití necezené nátěrové hmoty nebo směsi blízké stavu gelování při dlouhém časovém odstupu od namíchání k nanášení. [40]

### 5.3 Puchýřky a zvedání nátěru

Puchýřky vznikají především tlakem rozpouštědel, které se snaží proniknout na povrch nátěru nebo při unikání vzduchových bublinek při nátěrech porézních podkladů a nedostatečně opracovaných a nevytmelených hrubých odlitků. Tato vada se výrazně projevuje při zasychání nátěrů za vyšších teplot. Jestliže nevhodně zvolíme nátěrový systém, kdy vrchní vrstva obsahuje rozpouštědla agresivně působící na podklad a naruší jej, spodní vrstva tím zvětší svůj objem a pomalu deformuje vrstvu vrchní. Rez také nadzvedá nátěrový film a to v podobě puchýřků, až překročí soudržnost povlaku a pronikne na povrch. [40]

### 5.4 Krátery, dolíčky a póry

Tyto vady se tvoří v nátěrech díky nežádoucím příměsím v nátěrové hmotě, díky nečistotám ulpívajících pod nátěrem a také z důvodu nedostatečné čistoty pracoviště. Nečistoty můžeme chápat jako např. malá množství mastnoty, zrnka prachu, kapičky oleje, dešťovou vodu a rosu na nátěru. Tzv. dolíčkování (až tvorba kráterů) patří k nejrozsáhlejším defektům tohoto charakteru v důsledku přítomnosti silikonů. Práce s tzv. tepanými emaily (jejichž struktura je vytvářena přidavkem silikonové pasty) na jednom pracovišti s jinými nátěrovými hmotami je častou příčinou dolíčkování nátěrů, a proto se doporučuje pro tento druh vymezit oddělené pracoviště. Póry se v nátěru vytvářejí tehdy, prasknou-li bublinky, vznikající při nanášení. Nátěrová hmota v nátěru je již málo plastická a prostor po bublince se již nemůže zacelit. Také „probroušené“ bublinky na zaschlém nátěru mají podobu i vlastnosti pórů. Pro jejich překrytí většinou nový nátěr nestačí, ale je třeba plochu vytmelit a přebrousit před konečným nátěrem.[40]



Obr.16 Ukázka kráterů v povlaku [41]

## 6 NANOTECHNOLOGIE A VLASTNOSTI POVLAKŮ NA BÁZI NANOČÁSTIC

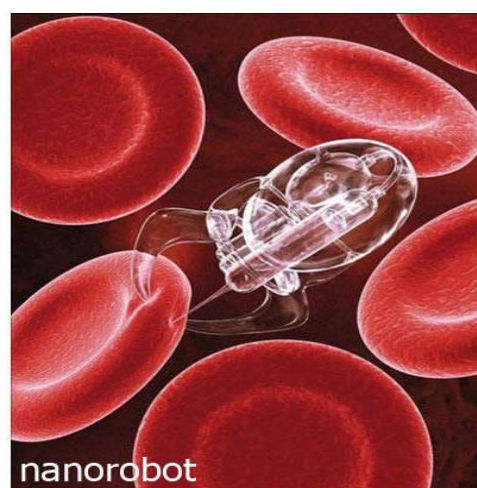
Nanotechnologie se zabývá vytvářením, výzkumem a využitím extrémně malých struktur. Slovo „nano“ je odvozeno z řeckého nános, což znamená trpaslík.

Je-li řeč o jednotce „nanometr“ (nm = 1 milióntina milimetru) nalézáme se již v nejmenší oblasti atomů a molekul. Nanočástice (menší než 100 nm) jsou základním stavebním prvkem této technologie. Pro částečnou ilustraci takto malých objektů je třeba si uvědomit, že např. jedna molekula vody má rozměr zhruba 0,1 nm, molekula glukózy přibližně 1 nm, složitá molekula protilátky proti virům nebo bakteriím je velká pouhých 10 nm, velikost viru je přibližně 100 nm, bakterie 1 000 nm a nádorová buňka má velikost až 30 000 nm. [16]

Využíváním zvláštních jevů, které se vyskytují v tomto malém měřítku, se nám otevírá svět nových možností v mnoha oblastech jako je energetika, životní prostředí, strojírenství, výpočetní technika, medicína, i stavebnictví. Zušlechťování pomocí nanotechnologií („nano surface coating“) dokáže povrchu nejen vtisknout výhodné vlastnosti (např. extrémní tvrdost povrchů nebo jejich vodoodpudivost), ale zároveň jej může uchovat několik let v téměř nezměněném stavu. Existují již přístroje s nanoúpravou povrchu, na kterých neulpívají otisky prstů. [43]



a)



b)

Obr.17 a) Ilustrace nanokrystalů, b) Ilustrace nanorobotu v krevním řečišti [43]

## 6.1 Vlastnosti povlaků obsahující nanočástice

Pomocí experimentálních zkoušek bylo zjištěno, že existence částic v nátěru, jejichž rozměry nepřesahují 100 nm, má velice dobrý vliv na finální vlastnosti povlaku. Je to např. zvýšení výsledné tvrdosti nebo zlepšení bariérových vlastností. Přítomnost nanočástic ovlivňuje výsledné vlastnosti až o desítky procent. Správná funkce nátěru je podmíněna pečlivým výběrem částic (tvarem, velikostí, povrchovou úpravou) a dokonalým rozmísením částic v pojivu. K vylepšení vlastností jsou vhodné nanoprášky kovu, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, sulfát baria, oxidy hliníku a zirkonu. Je možno použít i organické prášky. [10]

Klasický (konvenční) nátěr se skládá z organických molekul s dlouhými uhlíkovými řetězci. Mluvíme-li však o složení nanonátěru, je třeba zmínit anorganické křemíkové částice, vázané organickými polymery. Nátěr, obsahující anorganické nanočástice, které jsou navzájem hustě propojeny, vykazuje lepší vlastnosti jako např. zvýšenou tvrdost a odolnost proti poškrábání. Kromě, již zmíněné, ochrany proti mechanickému poškození, mohou křemíko-organické nanonátěry pomoci v boji s korozí. Také je třeba zmínit, ve spojení s těmito nanonátěry, bariérový efekt, který chrání proti vodní páře a chemikáliím. Nanonátěry však mohou plnit i mnoho nových funkcí mimo obvyklou ochranu. Např. užití superhydrofilních a superhydrofobních povrchů otevírá cestu k vytváření snadno čistitelných produktů, jako jsou např. samočistící skla. [10]

Každý povrch má své funkce a vlastnosti. Nanotechnologie nám v tomto směru umožňuje vlastnosti povrchů různě modifikovat a upravovat. Povrchy jsou pak schopny získat tyto funkční vlastnosti:

### 6.1.1 Samočistící schopnost a snadné čištění

Povrch je nelepivý a hydrofobní (odpudivý vůči vodě, olejům, mastnotám i běžným nečistotám). Základní princip hledejme v přírodě: „Rostlina lotos je pro východní filozofie symbolem čistoty. Jakmile se vynoří z vody plné bahna, zůstane suchá a čistá.“ Listy lotosu, ale i dalších vodních rostlin, jsou totiž pokryty miniaturními výběžky.

Tvoří je voskové krystaly, zabraňující vodě udržet se na povrchu - přesněji řečeno, díky miniaturním hrbolkům se povrchu dotýká jen menší část kapky než na hladkém povrchu. Kapka má vyšší povrchové napětí a vytvoří se z ní kulička, která se odkutálí pryč. [42]

Nečistoty proto nemají možnost se přichytit na povrch a případný déšť nebo oplach vytvoří tzv. samočisticí efekt - kdy se nečistoty nabalují na kapky vody a po materiálu stečou. Proto i větší znečištění lze lehce odstranit pouze vodou. Čistidel a agresivních saponátů už není třeba.[11]

### **6.1.2 Odolnost proti oděru a poškrábání**

Výrobky s těmito povlaky vykazují vysokou mechanickou i chemickou odolnost. U plastových výrobků se výše poškrábání a oděru snižuje na úroveň minerálního skla. [11]

### **6.1.3 Impregnace - odpudivost vody a olejů**

Vlivem nanostruktury substrátu voda i oleje vytvářejí na povrchu kapky podobné kapkám rtuti a stékají, aniž by došlo k promočení. Tím pádem snižuje riziko znečištěným. [11]

### **6.1.4 Ochrana proti korozi**

Většina povrchů má tendenci podléhat korozním vlivům. Proto se snažíme tyto povrchy chránit formou ochranného povlaku. U povlaků na bázi nanočástic je vývoj zaměřen na použití pigmentů o velikosti nanorozměru ( 1-100 nm) tak, aby tvar a uspořádání pigmentu zajistilo minimální průnik korozního prostředí k substrátu.[10] Dle dosavadních průzkumů je prokázáno, že povrchy po aplikaci nanopovlaků mají několikrát vyšší odolnost proti korozi než povrchy neošetřené.[11]

### **6.1.5 Odolnost proti plísním a bakteriím**

Plísně, řasy a další mikroorganismy coby skromní průkopníci života rostou tam, kde se jsou jim vytvořeny alespoň trochu příznivé podmínky. Jedna z nejdůležitějších je právě vlhkost. Pomocí mikropórů, nebo spíše již nanopórů, např. v omítce, je umožněna rychlá a intenzivní výměna vlhkosti s okolím. Tím se výrazně zvyšuje odolnost proti těmto plísním. [43]



**6.1.6 Ochrana proti stárnutí materiálu**

Nanočástice v povlaku jsou schopny vytvořit, již zmíněný, bariérový efekt. Ten pak chrání materiály před agresivním prostředím, slunečnímu záření, chemickými a mechanickými vlivy a vodě. Tyto vlivy značně ovlivňují stárnutí materiálů.

---

## 7 NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Experimentální materiál	- ocelový plech typu KOSMALT – E 300T
Úprava vzorků	<ul style="list-style-type: none"><li>- otryskané abrazivem 4VVD-4 měděná struska</li><li>- válcované za studena</li><li>- odmaštěné pomocí prostředku SIMPLE GREEN</li></ul>
Povrch materiálu	<ul style="list-style-type: none"><li>- chemický rozbor povrchu vzorků pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu</li><li>- čistota povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 (vizuálně)</li><li>- hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3 (samolepící páskou)</li><li>- měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287 (drsnoměrem Mitutoyo Surf test – 301)</li></ul>
Aplikace nátěrů	- štětcem
Zkouška nátěrů	<ul style="list-style-type: none"><li>- stanovení tloušťky mokrého nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808</li><li>- stanovení tloušťky suchého nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808</li><li>- stanovení přilnavosti nátěrového systému dle ČSN EN ISO 16276-2</li><li>- korozní zkouška nátěrů dle ČSN EN ISO 9227 (vyhodnocení proběhlo dle ČSN EN ISO 4628)</li></ul>

## 8 POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

### 8.1 Experimentální materiál

Jako experimentální materiál byl pro měření použit ocelový plech typu KOSMALT – E 300T (viz příloha č.1), dodaný firmou VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s. Plech byl nařezán na vzorky o rozměrech 100 x 150 x 3 mm. Tento typ oceli se používá pro výrobu konstrukcí, které mají odolávat atmosférickým vlivům. Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli je uvedeno v tab. 2 a v tab. 3 .

Jeden typ vzorků byl dodán ve stavu otryskaném abrazivem 4VVD-4 měděnou struskou a druhý typ ve stavu válcovaném.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli KOSMALT – E 300T

Mechanické vlastnosti	
Mez kluzu Re [MPa]	300 - 450
Mez pevnosti v tahu Rm [MPa]	350 - 550
Tažnost A <sub>5</sub> [%]	28

Tab. 3 Chemické složení oceli KOSMALT – E 300T

Chemické složení								
Prvek	C	Mn	Si	P	S	Al	N	Ti
Obsah [%]	0,07	0,21	0,03	0,013	0,01	0,042	0,006	0,06

## 8.2 Příprava vzorků

### 8.2.1 Značení vzorků

Vzorky byly označeny vždy dvěma písmeny. První písmeno značí stav, ve kterém byla příslušná sada vzorků dodána. Druhé písmeno nám udává typ nátěru, který byl na vzorky nanesen. Jednalo se o 3 typy nátěrových hmot.

#### První písmeno:

- „O“ - vzorky ve stavu otryskaném abrazivem 4VVD-4 měděnou struskou
- „V“ - vzorky ve stavu válcovaném

#### Druhé písmeno:

- „R“ - vzorky natřené transparentním lakem na bázi alkydové pryskyřice ( bez příměsí fosfátu zinku ZP10)
- „M“ - vzorky natřené transparentním lakem na bázi alkydové pryskyřice s příměsí 11-15% fosfátu zinku ZP10 ( v mikrometrech )
- „N“ - vzorky natřené transparentním lakem na bázi alkydové pryskyřice s příměsí 11-15% fosfátu zinku ZP10 ( v nanometrech )

### 8.2.2 Odmašťování povrchu vzorků

Na odmaštění všech vzorků bylo použito ekologického odmašťovacího prostředku SIMPLE GREEN. Tento ekologický koncentrát, fungující na vodní bázi, obsahuje směs účinných složek, které se aktivují studenou nebo teplou vodou. Je biologicky odbouratelný a ekologicky zcela neškodný. Vhodný k čištění ponorem, postřikem apod.

#### **Metodika odmašťování vzorků:**

Prostředek SIMPLE GREEN byl smíchán s vodou v poměru 1:10. Odmašťovací lázeň měla pH 9,03 a teplotu 16,5 °C. V takto připravené lázni byly postupně smáčeny všechny vzorky určené pro experiment po dobu 10 minut. Následoval oplach ve vodě o teplotě 17,9 °C a pH 4,78 po dobu 2 minut. Takto ošetřené vzorky se vložily na 5 minut do pece předehřáté na teplotu 100 °C . Na závěr následovalo vychladnutí na vzduchu.

### 8.3 Nátěrový systém použitý pro experiment

Jak již bylo zmíněno výše, pro experiment byl použit organický alkydový nátěr na bázi alkydové pryskyřice. Tento antikorozní základní nátěr nachází použití např. jako dočasná antikorozní ochrana pro železo a ocel.

Na oba typy vzorků (otryskané abrazivem 4VVD-4 měděnou struskou, válcované) byly nanесeny celkem 3 druhy nátěrových systémů. První nátěrový systém byl klasický, na bázi alkydové pryskyřice. Do dvou zbylých systémů byl jako pigment vmíchán fosforečnan zinečnatý nebo-li také fosfát zinku ZP10. V jednom případě byly částičky pigmentu ve velikosti mikrometrů, v druhém případě se velikost částic pohybovala v nanorozměrech.

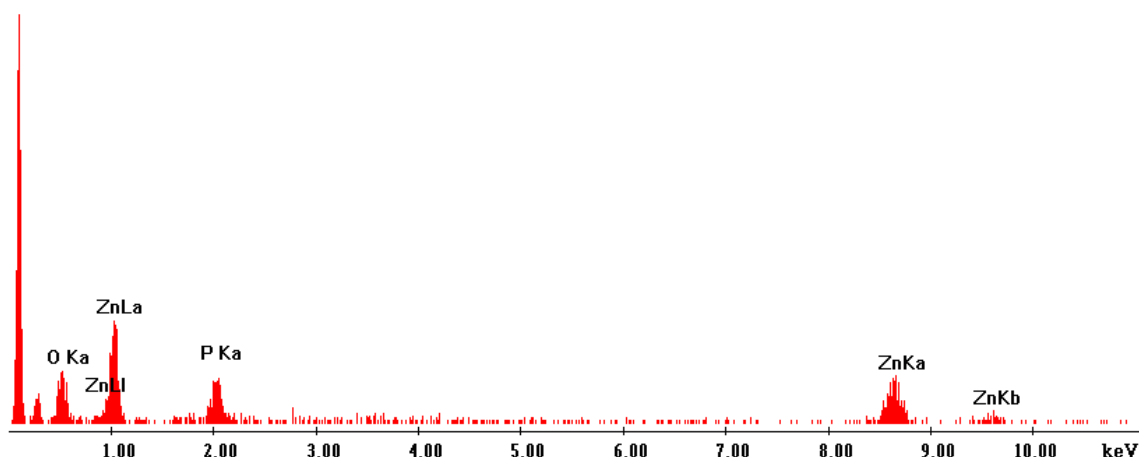
#### 8.3.1 Chemický rozbor mikročástic fosfátu zinku ZP10

Chemický rozbor byl proveden v centru nanotechnologií se sídlem na VŠB-TU Ostrava.

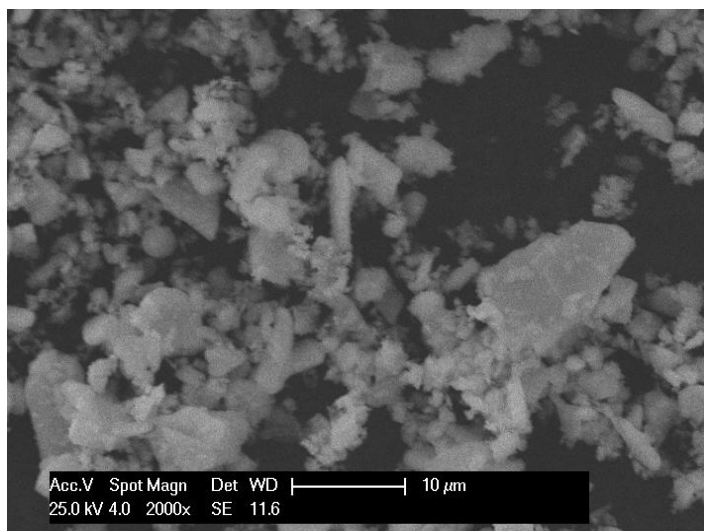
Tab.4 Chemický rozbor mikročástic fosfátu zinku ZP10

Chemický rozbor mikročástic fosfátu zinku ZP10	
Prvek	Wt [%]
O	42,66
P	14,74
Zn	42,60

Legenda: Wt - váhové množství



Obr.18 Vyjádření chemického rozboru mikročástic fosfátu zinku ZP10, graficky v píčích



*Obr.19 Fotodokumentace mikročástic fosfátu zinku ZP10  
(foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 2000x)*

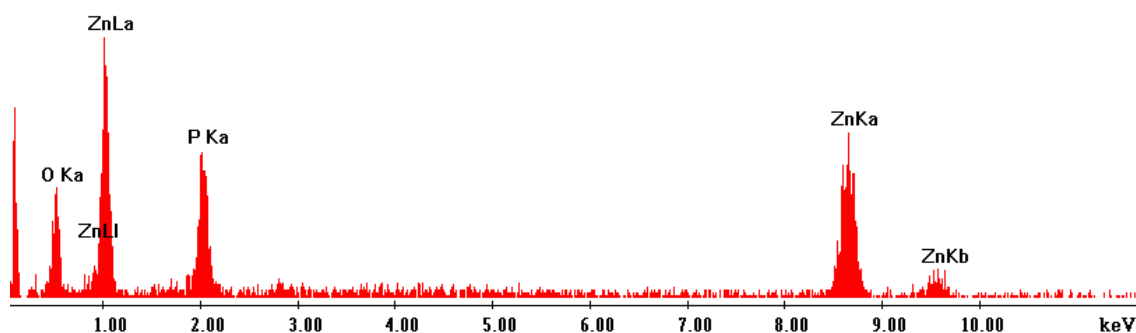
### 8.3.2 Chemický rozbor nanočástic fosfátu zinku ZP10

Chemický rozbor byl proveden v centru nanotechnologií se sídlem na VŠB-TU Ostrava.

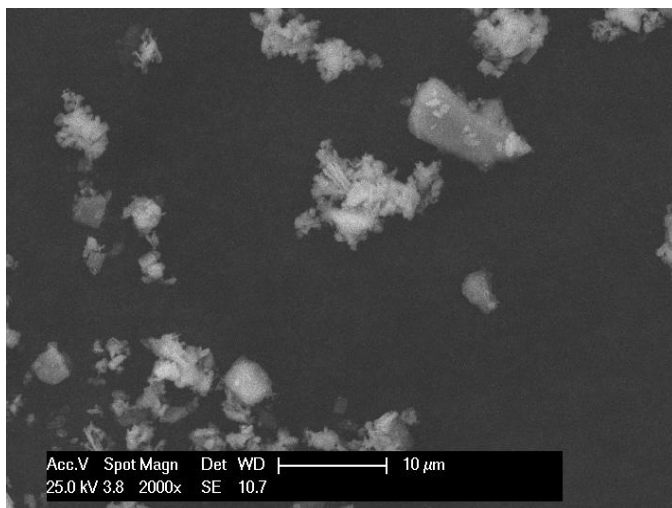
Tab.5 Chemický rozbor nanočástic fosfátu zinku ZP10

Chemický rozbor nanočástic fosfátu zinku ZP10	
Prvek	Wt [%]
O	29,13
P	15,82
Zn	55,06

Legenda: Wt - váhové množství



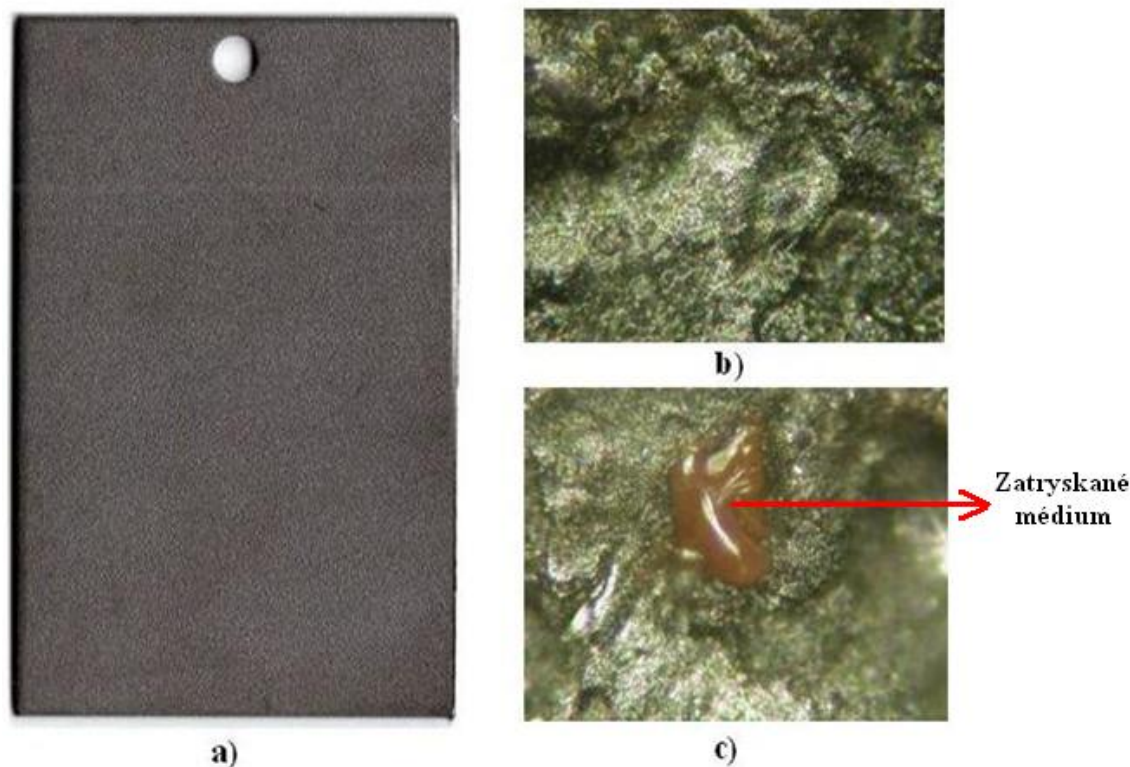
*Obr.20 Vyjádření chemického rozboru nanočástic fosfátu zinku ZP10, graficky  
v píčích*



*Obr.21 Fotodokumentace shluků nanočástic fosfátu zinku ,  
( foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 2000x )*

## 8.4 Fotodokumentace vzorků určených k experimentálnímu měření

### 8.4.1 Vzorek otryskaný abrazivem 4VVD-4 – měděná struska



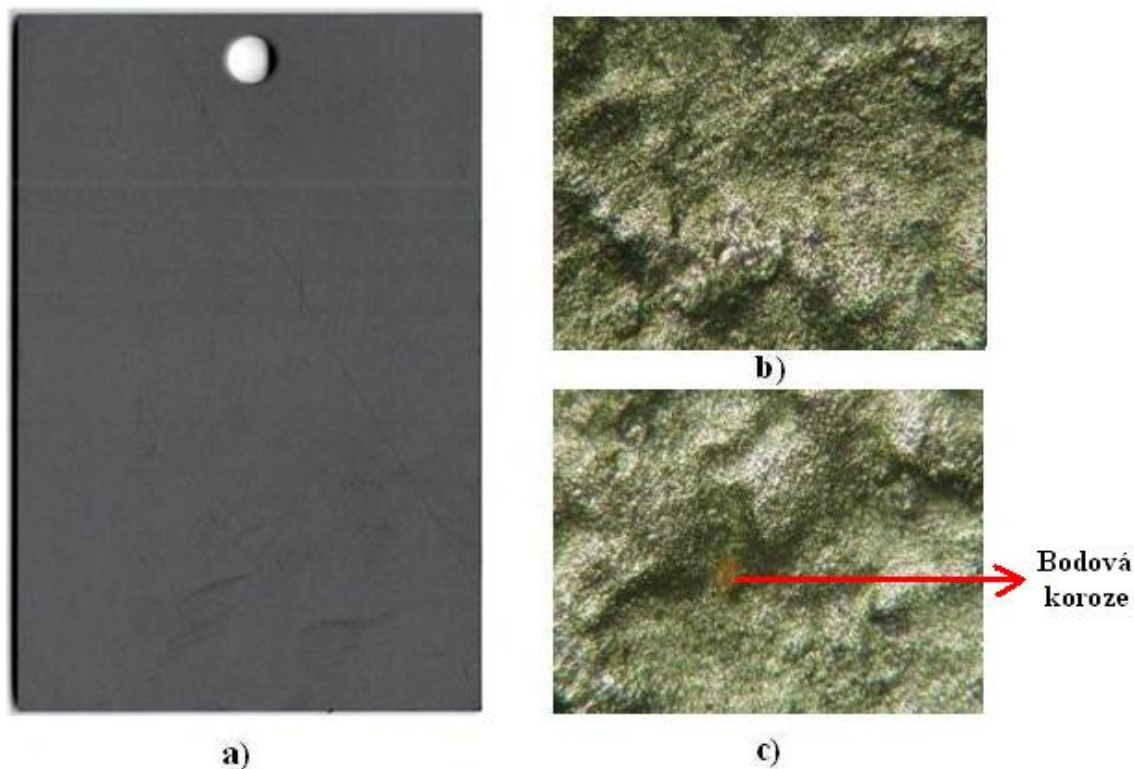
Obr.22 a) Povrch otryskaný abrazivem 4VVD-4 – měděná struska ,  
b) c) Detail povrchu otryskaného abrazivem 4VVD-4 - měděná struska  
( foceno na mikroskopu NEOPHOT 2, zvětšeno 400x )

Každý proces plastické deformace, tedy i otryskávání je spojen se změnou mechanických a technologických vlastností materiálu. Jako výhodné z pohledu mechanických vlastností se při tomto procesu jeví např. to, že lineárně stoupá mez pevnosti, mez kluzu a jejich poměr. Nevýhodou je pak pokles tažnosti.

Z pohledu kvality povrchu materiálu je otryskávání výborné k odstranění nečistot, korozního napadení a v neposlední řadě povrch získá určitou drsnost, která nám zajistí lepší přilnavost nátěrového systému. Hrozí zde však nebezpečí tzv. zatryskání média ( v našem případě měděné strusky), které je patrné z obr.22 c).



#### 8.4.2 Vzorek válcovaný

**a)****b)****c)****Bodová  
koroze**

*Obr.23 a) Povrch válcovaný,  
b) c) Detail povrchu válcovaného  
( foceno na mikroskopu NEOPHOT 2, zvětšeno 400x )*

Plech se válcují pomocí válcovacích stolic s hladkými válci z plochých předvalků. Nejprve se válcuje napříč, aby se dosáhlo potřebné šířky plechu a potom se plech otočí o  $90^\circ$  a válcuje se podélně. Tím se dosáhne stejnoměrné tloušťky a rovnoměrnějších vlastností materiálu v podélném i příčném směru válcování.

Obecně platí, že jakost povrchu pro za studena válcované plechy musí splňovat požadavky podle ČSN EN 10209, která určuje přípustný rozsah nedokonalostí a vad a přípustné postupy při jejich odstraňování.

Na obr.23 c) se nám podařilo mikroskopem NEOPHOT 2 zachytit vznik korozního napadení na povrchu zkoumaného válcovaného plechu.

## 8.5 Chemický rozbor povrchu vzorků pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu ( SEM mikroskopie )

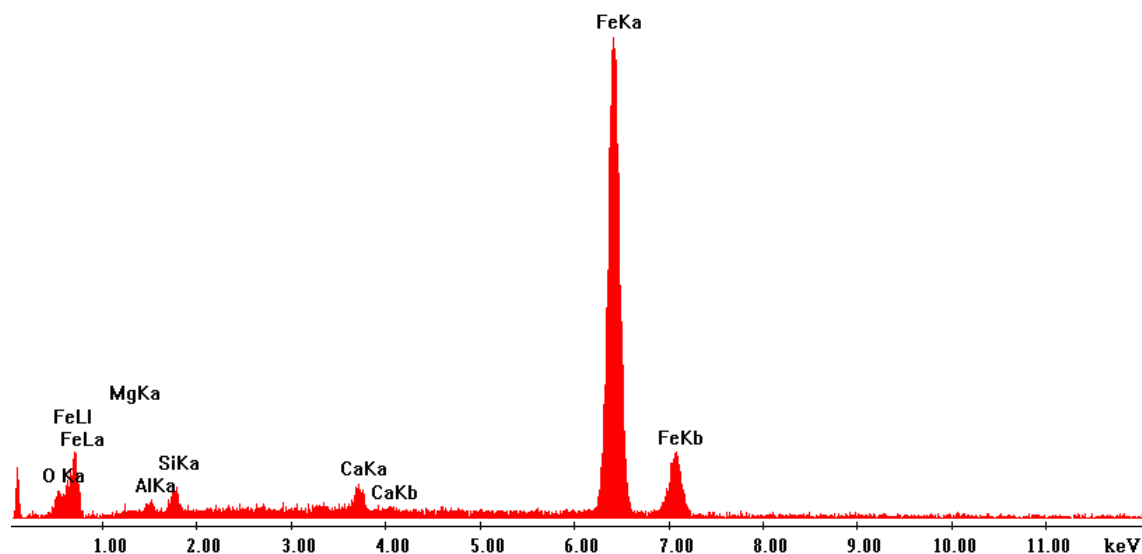
Chemický rozbor byl proveden v centru nanotechnologií se sídlem na VŠB-TU Ostrava. Chemické složení povrchu vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 - měděná struska a vzorků válcovaných se zjišťovalo na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30. Přístroj je určený k pozorování povrchů nejrozličnějších objektů. Výsledný obraz je tvořen pomocí sekundárního signálu - odražených nebo sekundárních elektronů. V porovnání se světelným mikroskopem je velkou předností SEM značná hloubka ostrosti, v důsledku které lze z dvojrozměrných fotografií nalézt jistý trojrozměrný aspekt. Další předností tohoto mikroskopu je, že při interakci urychlených elektronů s povrchem vznikají tzv. Augerovy elektrony, které nesou mnoho dalších informací o vzorku. Při jejich detekci je možné určit např. chemické složení v místě zkoumání a při porovnání s vhodným standardem lze určit i kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků.

### 8.5.1 Vzorek otryskaný abrazivem 4VVD-4 – měděná struska

Tab.6 Chemický rozbor povrchu otryskaného abrazivem 4VVD-4 - měděná struska

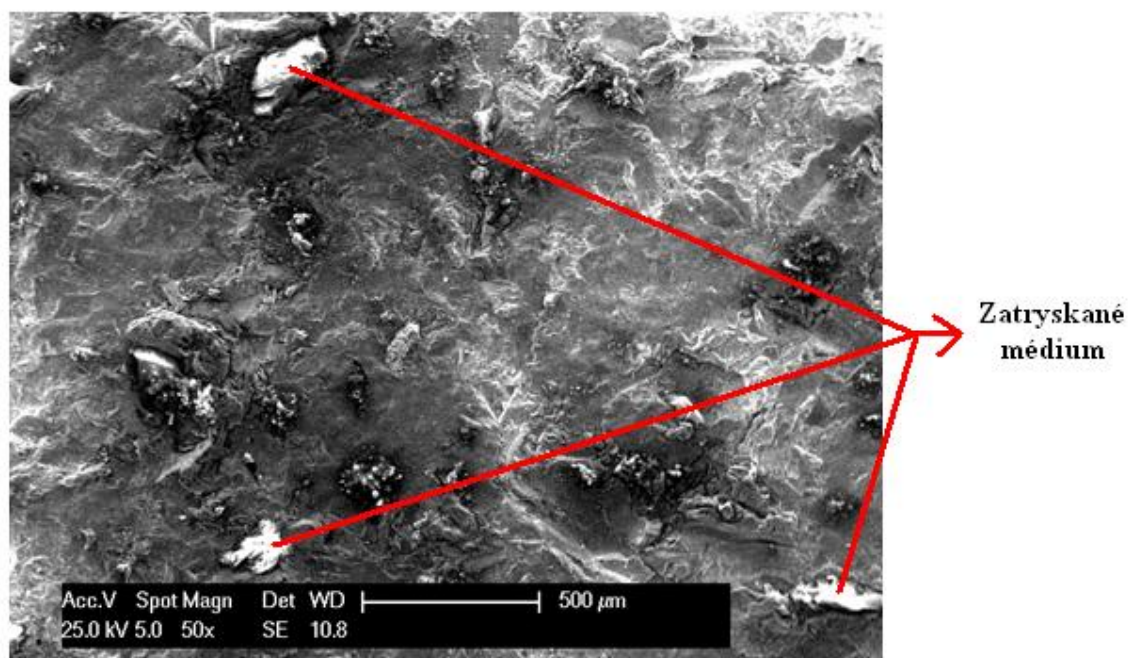
Chemický rozbor povrchu otryskaného abrazivem 4VVD-4 - měděná struska	
Prvek	Wt [%]
O	6,34
Mg	1,34
Al	1,89
Si	2,91
Ca	1,89
Fe	85,64

Legenda: Wt - váhové množství

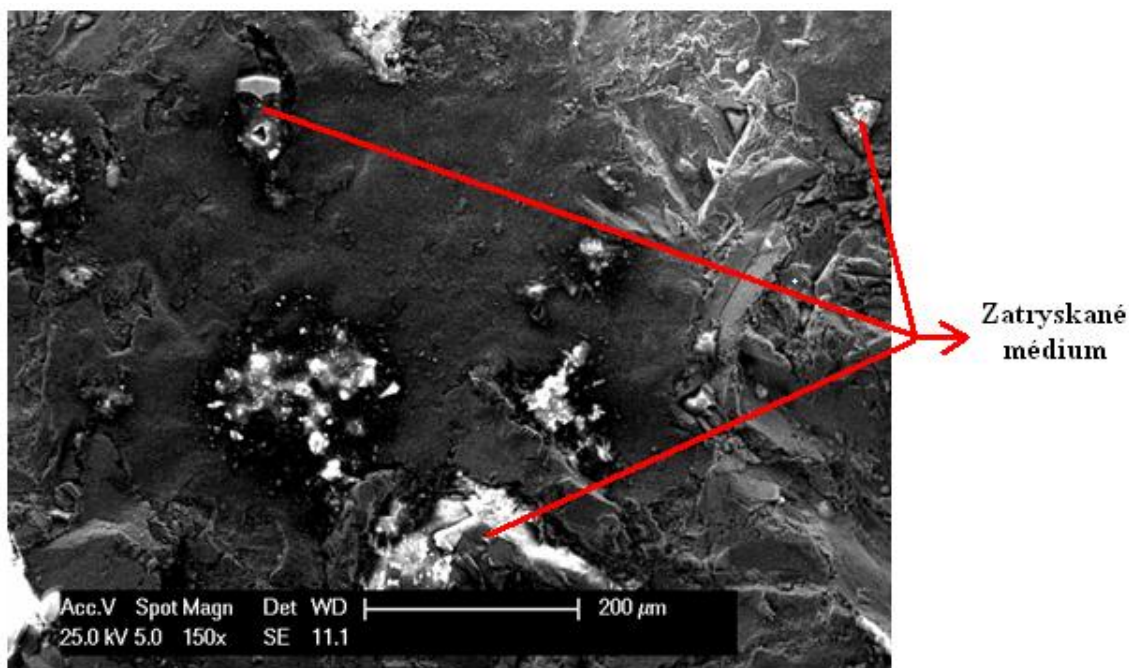


*Obr.24 Vyjádření chemického rozboru povrchu otryskaného abrazivem 4VVD-4 - měděná struska, graficky v píčích*

**Fotografické záznamy povrchu na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30:**



*Obr.25 Detail povrchu otryskaného abrazivem 4VVD-4 - měděná struska ( foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 50x )*



*Obr.26 Detail povrchu otryskaného abrazivem 4VVD-4 - měděná struska ( foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 150x )*

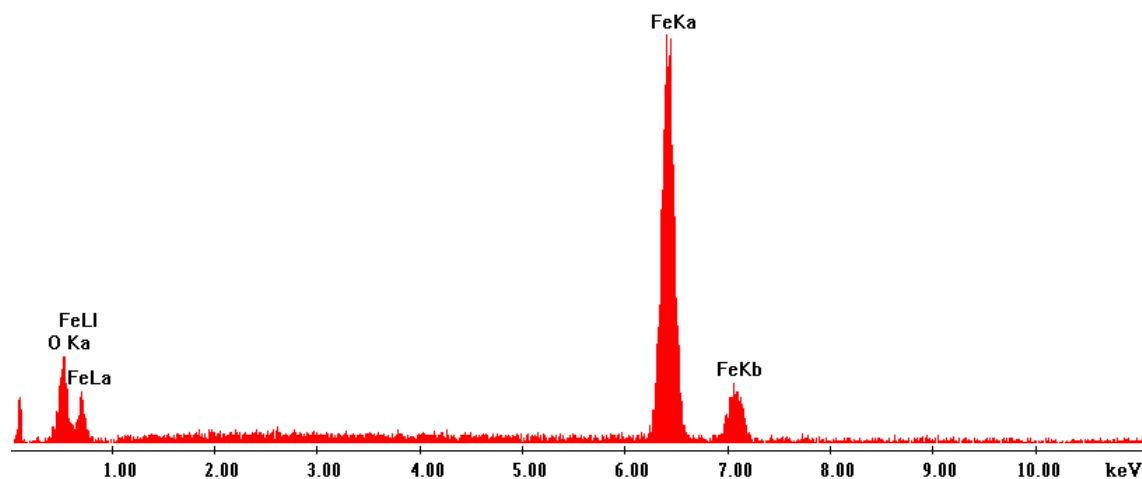
U povrchu otryskaného abrazivem 4VVD-4 - měděná struska se prvky Si , Ca , Al a Mg vyskytovaly pouze v malém množství do max. 3%. To nám značí mírné znečištění povrchu. Absence uhlíku svědčí o tom, že se na povrchu nenacházejí zbytky organických materiálů (oleje, mazadla apod.). Přítomnost zatryskaných zrn na povrchu může zapříčinit horší adhezi nátěrového systému.

### 8.5.2 Vzorek válcovaný

Tab.7 Chemický rozbor povrchu válcovaného

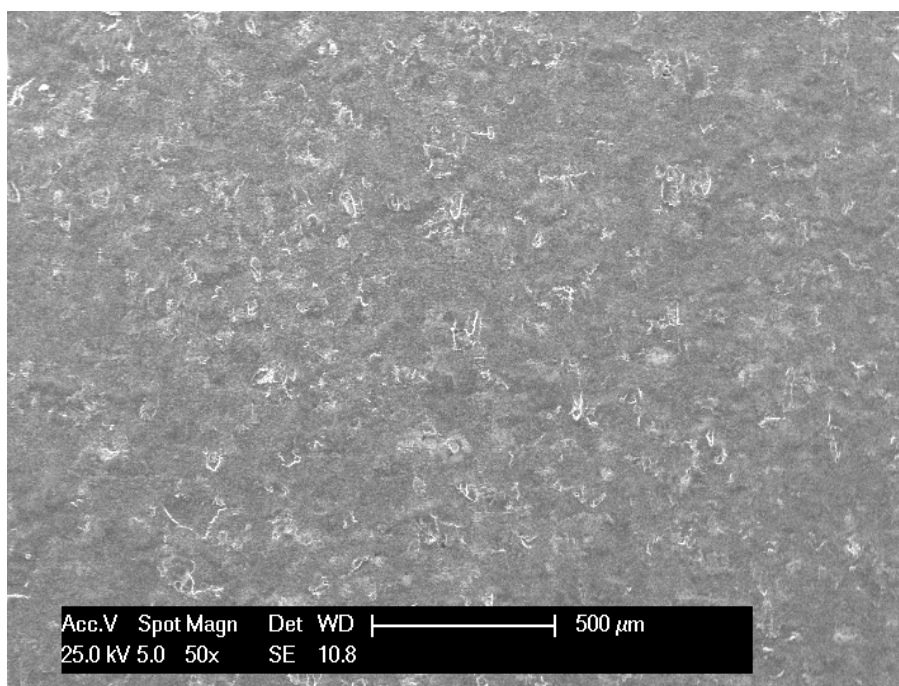
Chemický rozbor povrchu válcovaného	
Prvek	Wt [%]
O	18,65
Fe	81,35

Legenda: Wt - váhové množství



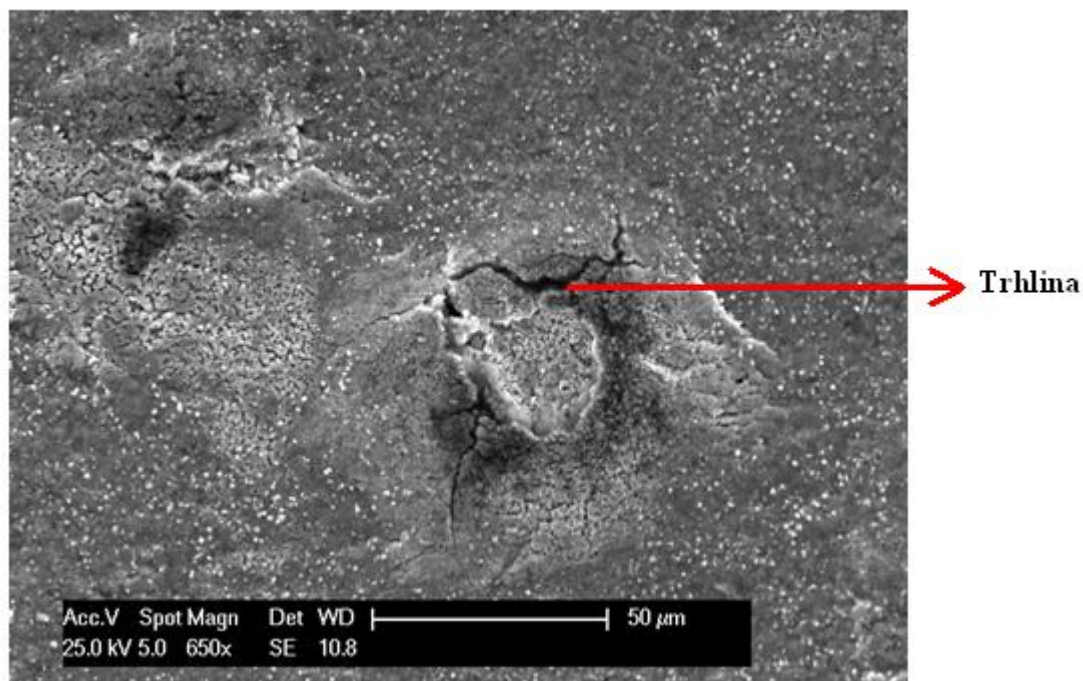
*Obr.27 Vyjádření chemického rozboru povrchu válcovaného, graficky v píkách*

**Fotografické záznamy povrchu na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30:**



*Obr.28 Detail povrchu válcovaného ( foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 50x )*





*Obr.29 Detail povrchu válcovaného s trhlinami ( foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 650x )*

Válcovaný povrch vykazoval pouze zastoupení prvků Fe a O. Zvýšené procento oxidů, vyskytujících se na povrchu (cca 18 %) může ovlivnit životnost povlaku vlivem možného začínajícího korozního napadení.

## 8.6 Stanovení čistoty otryskaného povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1

Pomocí této normy vizuálně hodnotíme míru zrezivění a celkově čistotu povrchu nenatřené oceli. Je zde specifikována řada stupňů přípravy povrchu, které nám udávají metodu přípravy povrchu a stupně jeho čistoty. Stupně přípravy povrchu jsou definovány slovním popisem vzhledu po operaci čištění spolu s reprezentativními fotografickými příklady. Vyhodnocení spočívá pouze hodnocením vzhledu povrchu. [22]

Tab. 8 Standardy stupňů přípravy pro celkovou přípravu povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 [22]

Stupeň přípravy	Metoda přípravy	Základní znaky povrchu	Rozsah použití
Sa 1	Otryskávání	Jsou odstraněny špatně přilnavé okuje, rez, vrstvy nátěru, cizí látky	Příprava povrchu:
Sa 2		Je odstraněna většina okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbytky nečistot musí být pouze pevně přilnavé	a) nenatřené ocelové povrchy
Sa 2 1/2		Jsou odstraněny okuje, rez, nátěry a cizí látky. Všechny zbylé stopy nečistot musí být pouze stíny ve formě skvrn nebo pásů	b) natřený ocelový povrch, jsou-li odstraněny do stanoveného stupně přípravy
Sa 3		Okuje, rez, nátěry, cizí látky jsou odstraněny. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled.	
St 2	Ruční nebo mechanizované čištění	Jsou odstraněny nepřilnavé okuje, rez, nátěry, cizí látky	
St 3		Jsou odstraněny nepřilnavé okuje, rez, nátěry, cizí látky. Povrch však musí být upraven důkladněji než u St 2. Musí vykazovat kovový odstín daný podkladem.	
FI	Čištění plamenem	Jsou odstraněny okuje, rez, nátěry, cizí látky. Všechny zbytky se mohou projevovat pouze jako změna barevného odstínu povrchu.	
Be	Moření v kyselině	Jsou kompletně odstraněny okuje, rez a zbytky nátěrů. Nátěrové hmoty musí být odstraněny před mořením v kyselině vhodnými prostředky.	Např. před žárovým zinkováním ponorem

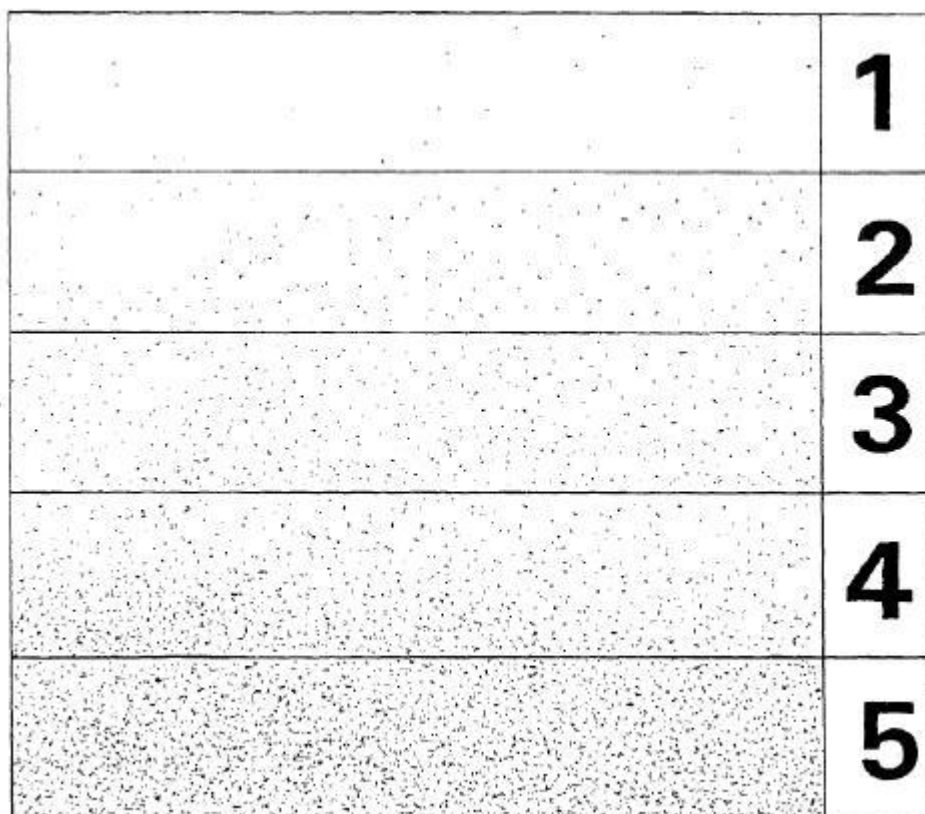
U vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 - měděná struska byl dle normy ČSN EN ISO 8501-1 vyhodnocen stupeň čistoty Sa 2 1/2.

## 8.7 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3

Tato norma popisuje metodiku stanovení zbytků prachu na očištěném ocelovém povrchu, který je připraven pro natírání.

K vyhodnocení množství prachu jsme použili samolepící adhezni pásku. Páska byla přitlačena k ocelovému povrchu a poté sejmuta pod úhlem 180°. Sejmutá páska se zachyceným prachem, byla nalepena na kontrastní podklad (bílý papír). Následně bylo provedeno vizuální posouzení množství zachyceného prachu a vyhodnocena velikost prachových částic. K vyhodnocení jsme použili optickou lupu.

Dle obrazové stupnice (viz obr.30), jsme stanovili stupeň zaprášenosti u obou typů vzorků 1. Dále bylo nutné přiřadit i třídu velikosti prachových částic (viz tab.9), které ulpěly na sejmuté pásce. Velikosti částic odpovídala třídě 2.



Obr.30 Obrazová stupnice odpovídající množství prachu dle ČSN ISO 8502-3 [23]



Tab.9 Třídy velikosti prachových částic dle ČSN ISO 8502-3 [23]

<b>Třída</b>	<b>Popis prachových částic</b>
0	částice neviditelné při zvětšení 10x
1	částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 $\mu\text{m}$ v průměru)
2	částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 $\mu\text{m}$ a 100 $\mu\text{m}$ v průměru)
3	částice jasně viditelné prostým okem (částice do 0,5 mm v průměru)
4	částice mezi 0,5 mm a 2,5 mm v průměru
5	částice větší než 2,5 mm v průměru

### 8.8 Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287

Tato mezinárodní norma vymezuje termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu (drsnosti, vlnitosti a základního profilu) profilovou metodou.[24] Jedná se o normalizovanou metodu využívající profil nerovnosti vzniklý v rovině řezu (2D). Profil povrchu materiálu je získáván dotykovou metodou pomocí diamantového snímacího hrotu. ,

Drsnost byla měřena přístrojem Mitutoyo Surftest – SJ-301 (viz obr.31) dle normy ČSN EN ISO 4287. Tento přístroj je schopen hodnotit povrchové textury s nejrůznějšími parametry. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulek a poté zprůměrnovány.

Parametry struktury povrchu, které byly předmětem měření:[8]

Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Rz – největší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Rq – střední kvadratická úchylka profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Rp – největší výška výstupků profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Rv – největší hloubka prohlubní profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Rsk – šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) [-]

Rku – špičatost posuzovaného profilu [-]



Obr.31 Měřicí přístroj Mitutoyo Surftest SJ-301

Měření bylo provedeno na vzorcích otryskaných měděnou struskou 4VVD-4 a na vzorcích válcovaných .

### 8.8.1 Měření drsnosti na vzorcích otryskaných měděnou struskou 4VVD-4

Nastavení přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301 :

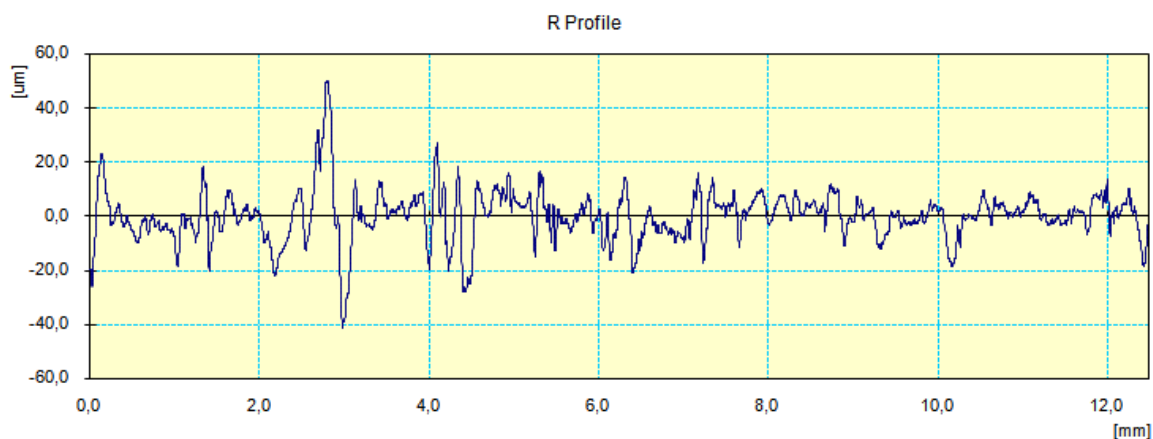
- měření probíhalo dle ISO 1997,  $\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$ ,  $L = 12,5 \text{ mm}$

$\lambda_c$  – filtr profilu , který definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti

$L$  – délka měřeného úseku

Tab.10 Naměřené parametry drsnosti – vzorky otryskané měděnou struskou 4VVD-4

Počet měření		<b>Ra</b> [μm]	<b>Rz</b> [μm]	<b>Rq</b> [μm]	<b>Rp</b> [μm]	<b>Rv</b> [μm]	<b>Rsk</b> [-]	<b>Rku</b> [-]
	<b>1</b>	7,17	65,49	10,11	26,79	38,7	-0,73	5,38
	<b>2</b>	7,1	57,27	9,86	21,59	35,68	-0,82	4,63
	<b>3</b>	6,76	54,37	9,36	23,77	30,6	-0,64	4,57
	<b>4</b>	6,68	45,68	8,65	22,67	23	-0,09	3,45
	<b>5</b>	6,26	48,71	8,47	22,62	26,09	-0,24	4,49
	<b>6</b>	6,98	52,8	9,17	29,66	23,15	-0,35	3,7
	<b>7</b>	6,75	56,38	9,46	27,68	28,7	0,06	4,89
	<b>8</b>	6,89	52,65	9,35	21,6	31,05	-0,43	3,95
	<b>9</b>	6,53	54,13	9,06	31,22	22,92	0,65	4,54
	<b>10</b>	6,39	46,87	8,58	22,88	24	0,48	4,32
	<b>Ø</b>	<b>6,75</b>	<b>53,44</b>	<b>9,21</b>	<b>25,05</b>	<b>28,39</b>	<b>-</b>	<b>4,39</b>



Obr.32 Grafický záznam profilu drsnosti z přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301 pro vzorky otryskané měděnou struskou 4VVD-4

### 8.8.2 Měření drsnosti na vzorcích válcovaných

Nastavení přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301 :

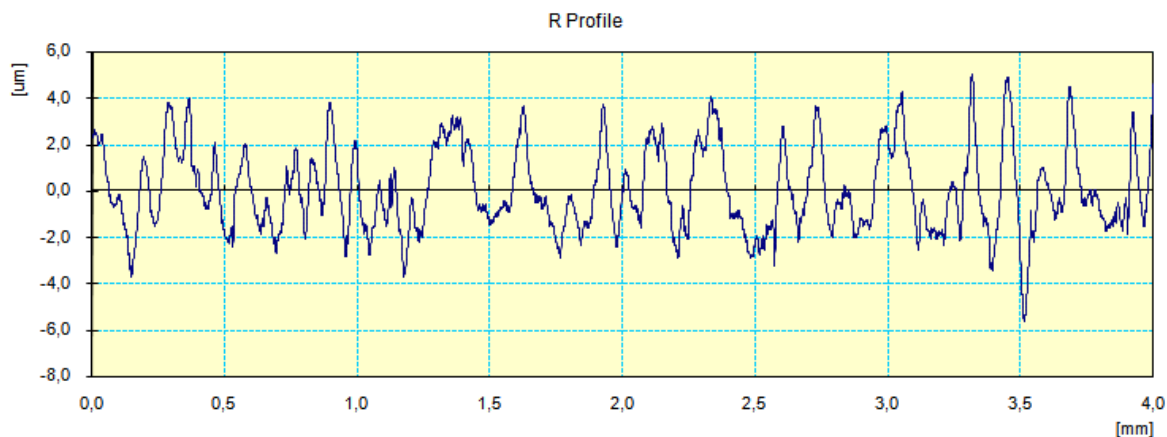
- měření probíhalo dle ISO 1997,  $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$ ,  $L = 4 \text{ mm}$

$\lambda_c$  – filtr profilu , který definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti

$L$  – délka měřeného úseku

Tab. 11 Naměřené parametry drsnosti – vzorky válcované

Počet měření		<b>Ra</b> [μm]	<b>Rz</b> [μm]	<b>Rq</b> [μm]	<b>Rp</b> [μm]	<b>Rv</b> [μm]	<b>Rsk</b> [-]	<b>Rku</b> [-]
	<b>1</b>	1,85	10,38	2,29	6,13	4,25	0,68	2,94
	<b>2</b>	1,82	9,06	2,19	5,24	3,82	0,51	2,55
	<b>3</b>	1,73	8,88	2,12	4,95	3,93	0,51	2,7
	<b>4</b>	1,68	8,51	2	4,39	4,12	0,24	2,28
	<b>5</b>	1,72	8,64	2,06	4,66	3,99	0,25	2,29
	<b>6</b>	1,26	7,84	1,6	3,57	4,27	-0,07	3,24
	<b>7</b>	1,47	8,22	1,76	4,38	3,84	0,15	2,78
	<b>8</b>	1,27	6,58	1,53	3,76	2,82	0,35	2,39
	<b>9</b>	1,37	7,05	1,64	3,75	3,31	0,28	2,38
	<b>10</b>	1,49	8,06	1,81	4,21	3,86	0,43	2,46
	<b>σ</b>	<b>1,57</b>	<b>8,32</b>	<b>1,90</b>	<b>4,50</b>	<b>3,82</b>	<b>+</b>	<b>2,60</b>



*Obr.33 Grafický záznam profilu drsnosti z přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301  
pro vzorky válcované*

## 8.9 Aplikace nátěru na vzorky

Po odmaštění byly experimentální vzorky natřeny příslušným nátěrovým systémem. Tyto nátěry byly namíchány ve firmě DENAS COLORS a.s. Aplikace nátěrové hmoty na jednotlivé vzorky byla provedena štětcem až na požadovanou tloušťku mokrého filmu. Tato tloušťka byla průběžně kontrolována hřebenovou měrkou dle ČSN EN ISO 2808.[25]



*Obr.34 Hřebenová měrka od firmy BASTRO ( rozsah 25-2000 μm )*

## 8.10 Vytvrzování nátěrů

Na vzorky byly nanесeny vždy 2 vrstvy nátěrového systému. Nejprve první vrstva, která se pohybovala okolo 50  $\mu\text{m}$ . Následovalo pozvolné zaschnutí na vzduchu. Jakmile byla první vrstva nátěru suchá, vzorky byly vloženy do pece PREMED KBC G-100/250 na 1 hodinu při teplotě 80 °C. Po vyjmutí a ochlazení na vzduchu byla nanесena vrstva druhá, která měla opět tloušťku cca 50  $\mu\text{m}$ . Průměrná tloušťka mokré vrstvy tedy činila 100  $\mu\text{m}$ .

Finální vytvrzování nátěru probíhalo opět v peci PREMED KBC G-100/250. Doba vytvrzování činila 6 hodin při teplotě 80 °C.

## 8.11 Kontrola tloušťky suché vrstvy dle ČSN EN ISO 2808

Po vytvrzení nátěru, byla provedena kontrola tloušťky suché vrstvy. Pro vyhodnocení byl použit nedestruktivní postup pro stanovení tloušťky nemagnetických povlaků na magnetických kovových podkladech tzv. magnetický způsob. Přístrojem ELCOMETER 456 (viz obr.35) bylo na každém vzorku provedeno 5 měření. Hodnoty byly zaznamenány, zprůměrovány a zaneseny do tabulek. (viz tab.12).



Obr.35 Digitální tloušťkoměr ELCOMETR 456 ( rozsah 0 – 1500  $\mu\text{m}$  )

Tab. 12 Průměrná tloušťka mokré a suché vrstvy u vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 - měděná struska

Vzorky otryskané abrazivem 4VVD-4 - měděná struska		
Typ vzorků	Průměrná tloušťka mokré vrstvy [μm]	Průměrná tloušťka vytvrzené vrstvy [μm]
„OR“	100	47,6
„OM“	100	45,2
„ON“	100	49,4

Tab. 13 Průměrná tloušťka mokré a suché vrstvy u vzorků válcovaných

Vzorky ve stavu válcovaném		
Typ vzorků	Průměrná tloušťka mokré vrstvy [μm]	Průměrná tloušťka vytvrzené vrstvy [μm]
„VR“	100	45,1
„VM“	100	48,9
„VN“	100	46,4

## 8.12 Zkouška přilnavosti mřížkovou metodou dle ČSN ISO 16276-2

Pro hodnocení přilnavosti byla použita mřížková metoda dle ČSN ISO 1627-2, která se odkazuje na ČSN ISO 2409. Specifikuje zkušební metodu pro určení odolnosti nátěru k oddělení od podkladu, když nátěr je porušen mřížkovým řezem až k podkladu.


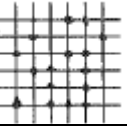


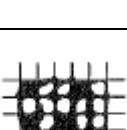
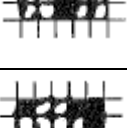
### Zkušební prostředky a pomůcky

- Řezný nůž ELCOMETER 1542 s rozstupem břitů na kotoučové části 1 mm (dle tloušťky suché vrstvy do 60 μm)
- Vodící šablona
- Průhledná samolepící páska šíře 50 mm
- Měkký štětec
- Lupa


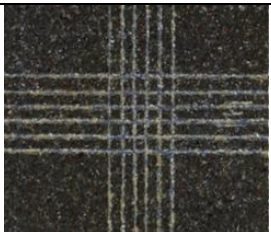
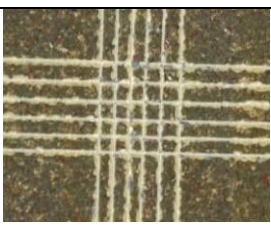
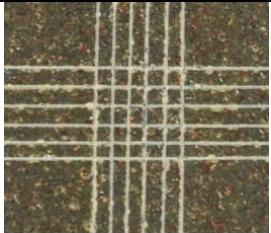
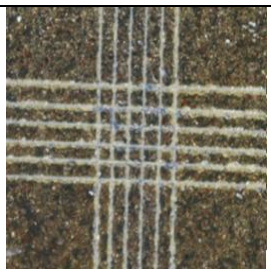
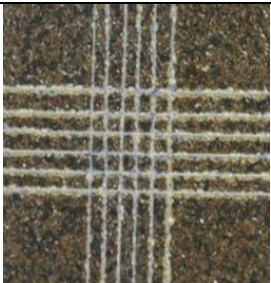
### Postup zkoušky

Pomocí vodící šablony byly zhotoveny řezy do nátěrového systému (6 řezů). Otočili jsme šablonu o 90° a zhotovili řez kolmo na předešlý řez tak, aby se vytvořila mřížka. Měkkým štětcem jsme několikrát lehce očistili řezy. Na vzniklé řezy byla nalepena samolepící přídržná s přitlačností 6-10 N na 25 mm šířky o šíři 50 mm. Abychom zajistili dobrý kontakt s nátěrem, pásku uhladíme konečky prstů a pod úhlem přibližně 60° byla sejmuta z povrchu. Bezprostředně po stažení pásky bylo provedeno vizuální hodnocení. Klasifikace byla provedena dle ČSN ISO 1627-2, která se odkazuje na ČSN ISO 2409.

Tab. 14 Klasifikace zkušebních výsledků mřížkové zkoušky [26,27]

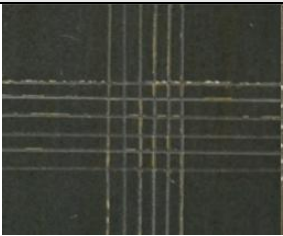
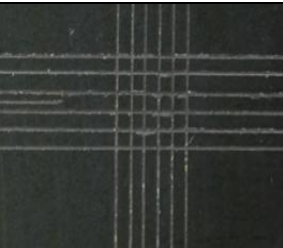
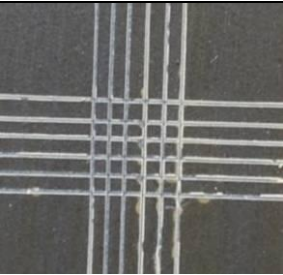
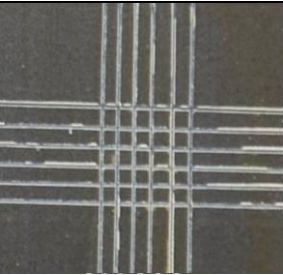
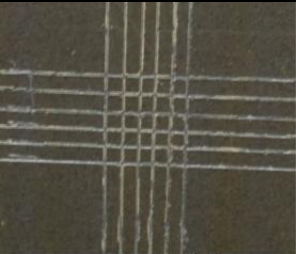
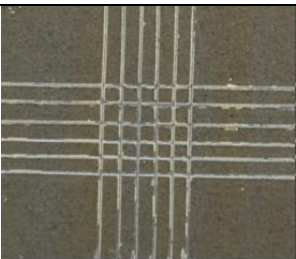
Klasifikace	Popis	Schéma
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5 %	
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen o více než 5% a méně než 15% celkové plochy	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně, nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15%, ale menší než 35%.	
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35%, ale méně než z 65%.	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4 (více než 65%)	

Tab. 15 Vyhodnocení poškození nátěrů u vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 -  
měděná struska

Vzorek	Fotodokumentace	Stupeň poškození nátěru
„OR“		1
		1
„OM“		2
		1
„ON“		1
		1



Tab. 16 Vyhodnocení poškození nátěrů u vzorků válcovaných

Vzorek	Fotodokumentace	Stupeň poškození nátěru
„VR“		1
		1
„VM“		1
		0
„VN“		1
		1

### 8.13 Korozní zkouška nátěrů dle ČSN EN ISO 9227

Korozní zkouška byla zrealizována v solné korozní komoře LIEBISCH S400 M-TR. Solné korozní komory představují jeden z nejmodernějších a nejvšestrannějších systémů pro hodnocení korozní odolnosti. Zkouška byla provedena v souladu s ČSN EN ISO 9227. Vyhodnocení pak dle ČSN EN ISO 4628.

Před započítáním cyklu v korozní komoře jsme okraje jednotlivých vzorků oblepili lepící páskou, abychom zabránili primárnímu vzniku koroze, která má tendenci tvořit se v těchto místech. Na předem vyčleněné vzorky se poté řezným nástrojem vytvořil vertikální řez o délce 7 cm až na podklad substrátu.

Do solné komory bylo tedy vloženo celkem 12 vzorků. Šest vzorků bylo otryskaných abrazivem 4VVD-4 - měděná struska (OR, OM, ON a OR - řez, OM - řez, ON - řez). Zbýlých šest vzorků bylo válcovaných (VR, VM, VN a VR - řez, VM - řez, VN - řez). Obě sady vzorků byly natřené příslušným nátěrovým systémem viz kapitola **8.2.1 Značení vzorků**. Tyto vzorky byly po cyklech 0, 8, 24, 48 a 72 hod. sledovány a fotograficky dokumentovány viz příloha č.2.

Provozní podmínky solné komory LIEBISCH S400 M-TR:

- Tlak vzduchu  $3 \div 4$  bar
- Tlak vody  $2,5 \div 3$  bar
- Průtok vody 0,45 l/hod
- Teplota prostředí  $35 \pm 2$  °C
- Teplota navlhčovače 55 °C
- Vlhkost 100 %
- Solná mlha - 5 % neutrální vodný roztok NaCl

Transparentní alkydový lak, který je na vzorcích nanesen má sloužit jako krátkodobá korozní ochrana. V tab.17 je pro tuto krátkodobou ochranu (cca 1 rok) uveden návrh výpočtu korozní odolnosti v prostředí C5 (klasifikace korozního prostředí viz příloha č. 3), kde tato doba odpovídá 72 h expozice povlaku v korozní komoře s prostředím solné mlhy.

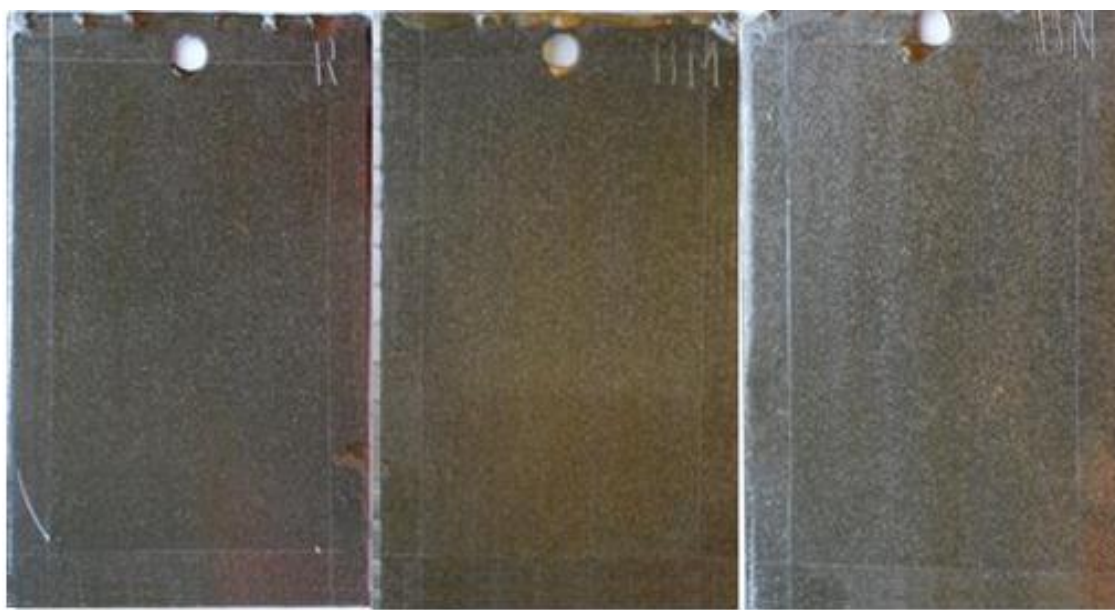
Tab.17 Návrh výpočtu korozní odolnosti [2]

Korozní odolnost	
Simulovaná doba v korozní komorě	Realita - skutečnost
720 h	cca 10 let
72 h	cca 1 rok
6 h	cca 1 měsíc

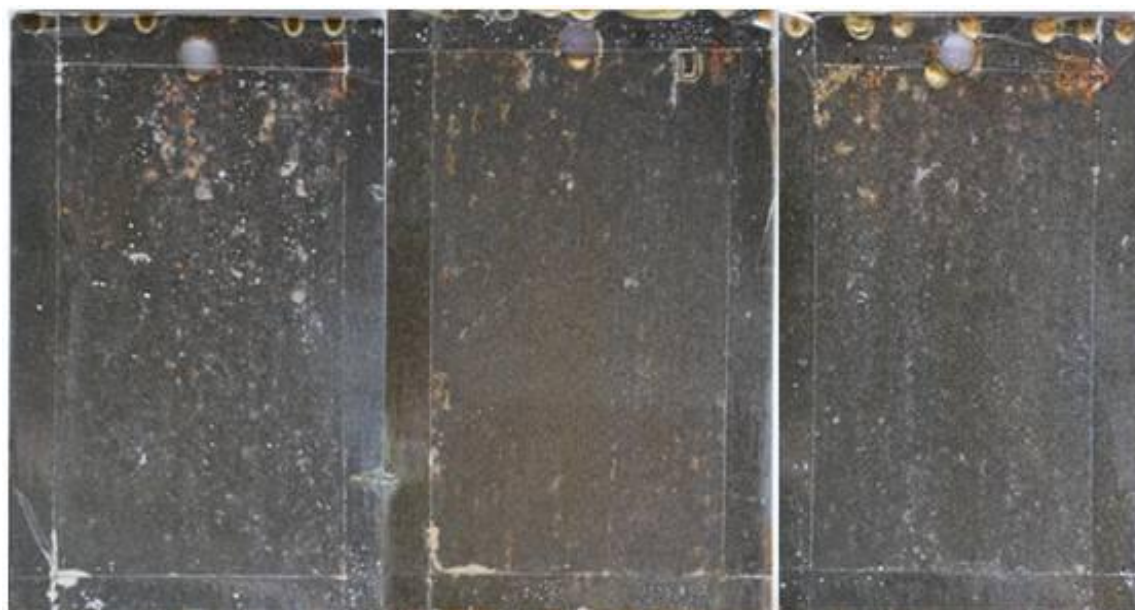
### 8.13.1 Fotodokumentace vzorků s nátěry na počátku a na konci cyklu korozní zkoušky

Kompletní fotodokumentace vzorků při jednotlivých cyklech viz příloha č.2.

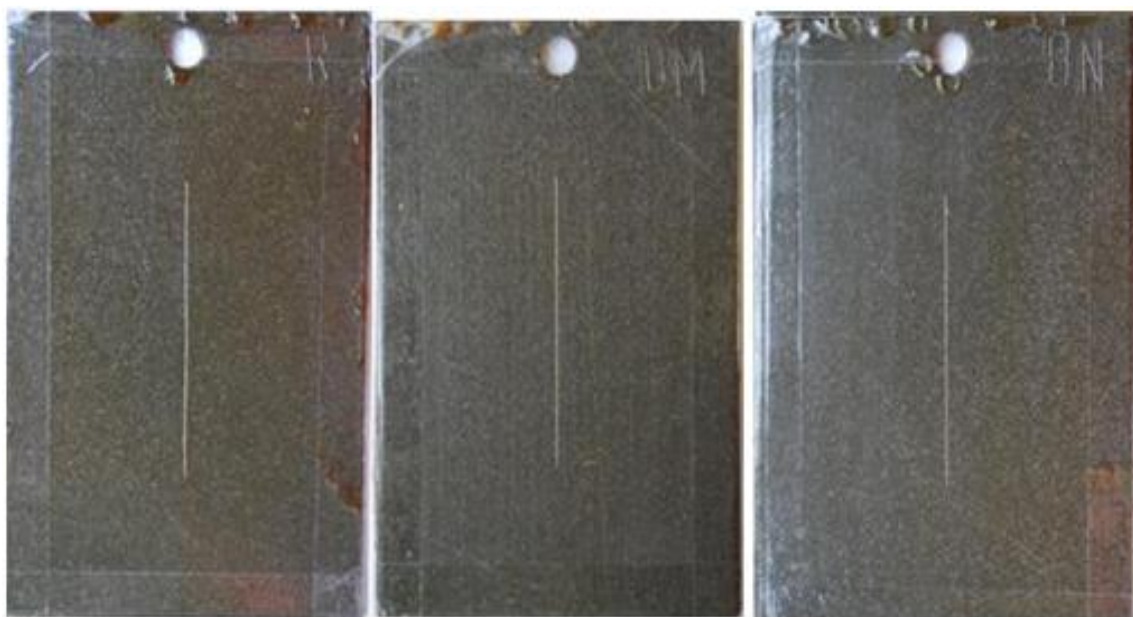
#### Vzorky otryskané abrazivem 4VVD-4 - měděná struska



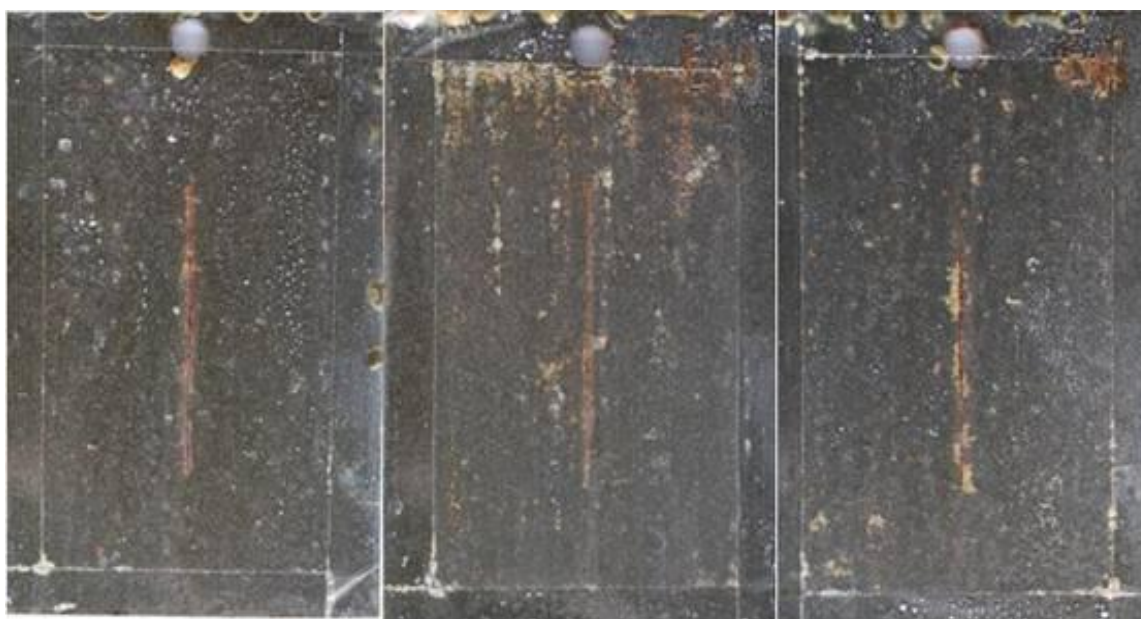
*Obr.36 Fotografické snímky degradace nátěrů na substrátech otryskaných abrazivem 4VVD-4 - měděná struska před vložením do korozní komory ( bez řezu )*



*Obr.37 Fotografické snímky degradace nátěrů na substrátech otryskaných abrazivem 4VVD-4 - měděná struska po 72h expozice v korozní komoře ( bez řezu )*

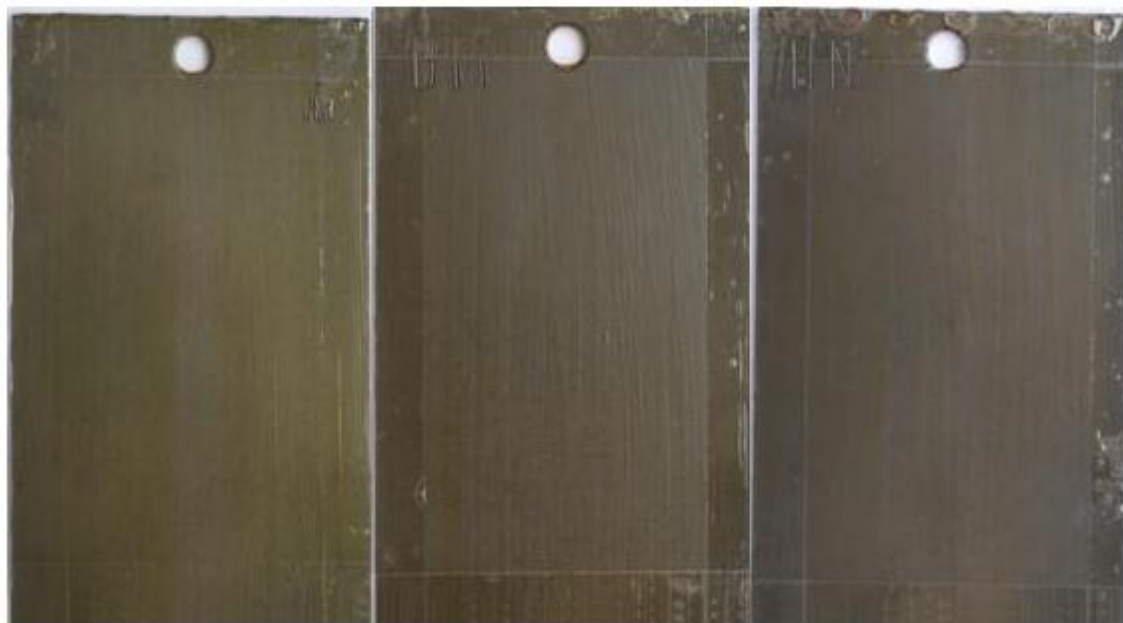


*Obr.38 Fotografické snímky degradace nátěrů na substrátech otryskaných abrazivem 4VVD-4 - měděná struska před vložením do korozní komory ( s řezem )*



*Obr.39 Fotografické snímky degradace nátěrů na substrátech otryskaných abrazivem 4VVD-4 - měděná struska po 72h expozice v korozní komoře ( s řezem )*

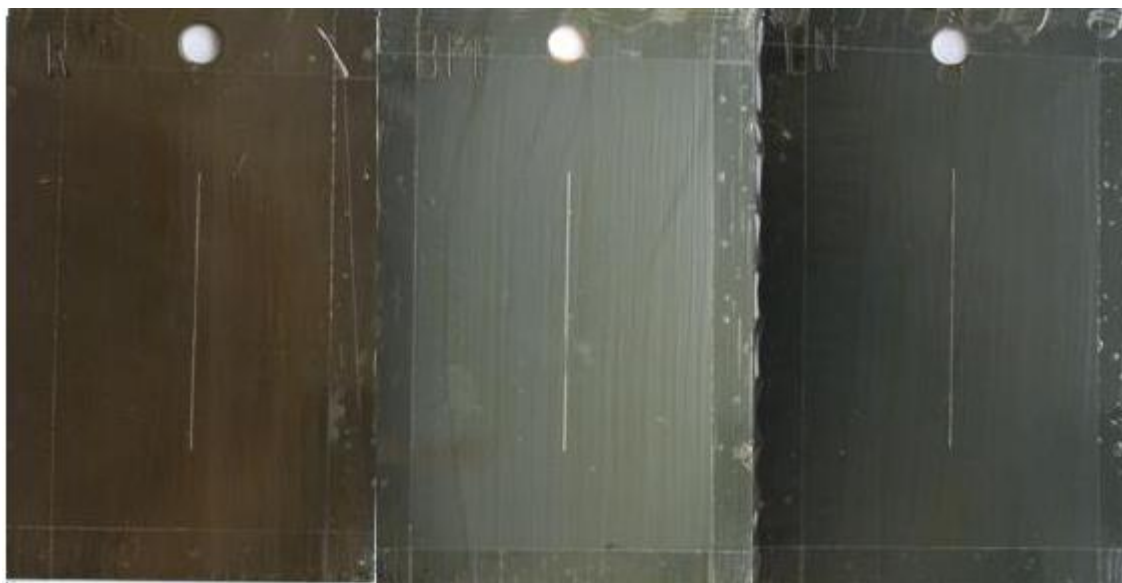


**Vzorky válcované**

*Obr.40 Fotografické snímky degradace nátěrů na substrátech válcovaných před vložením do korozní komory ( bez řezu )*



*Obr.41 Fotografické snímky degradace nátěrů na substrátech válcovaných po 72h expozice v korozní komoře ( bez řezu )*



*Obr.42 Fotografické snímky degradace nátěrů na substrátech válcovaných před vložením do korozní komory ( s řezem )*



*Obr.43 Fotografické snímky degradace nátěrů na substrátech válcovaných po 72h expozice v korozní komoře ( s řezem )*

## 8.13.2 Vyhodnocení degradace nátěrů

Tab. 18 Vyhodnocení degradace nátěrů dle ČSN EN ISO 4628 ( vzorky bez řezu)

	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorezavění	Intenzita změn
<b>0 h expozice v korozní komoře</b>			
„OR“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
„VR“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
„OM“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
„VM“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
„ON“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
„VN“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
<b>8 h expozice v korozní komoře</b>			
„OR“	1 (S1)	Ri0 (S0)	0
„VR“	1 (S1)	Ri0 (S0)	0
„OM“	1 (S1)	Ri0 (S0)	0
„VM“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
„ON“	1 (S1)	Ri0 (S0)	0
„VN“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0
<b>24 h expozice v korozní komoře</b>			
„OR“	1 (S2)	Ri0 (S0)	0
„VR“	1 (S2)	Ri1 (S2)	0
„OM“	1 (S2)	Ri0 (S0)	0
„VM“	0 (S2)	Ri0 (S0)	křídování 3
„ON“	1 (S2)	Ri0 (S0)	0
„VN“	0 (S2)	Ri1 (S2)	0
<b>48 h expozice v korozní komoře</b>			
„OR“	2 (S2)	Ri1 (S2)	0
„VR“	2 (S2)	Ri2 (S2)	0
„OM“	3 (S2)	Ri1 (S2)	křídování 3
„VM“	1 (S2)	Ri1 (S2)	křídování 3
„ON“	3 (S2)	Ri1 (S2)	0
„VN“	2 (S2)	Ri1 (S2)	0
<b>72 h expozice v korozní komoře</b>			
„OR“	3 (S3)	Ri3 (S4)	0
„VR“	2 (S2)	Ri2 (S4)	0
„OM“	3 (S2)	Ri2 (S2)	křídování 3
„VM“	1 (S2)	Ri1 (S2)	křídování 3
„ON“	3 (S2)	Ri2 (S2)	0
„VN“	2 (S2)	Ri2 (S2)	0



Tab. 19 Vyhodnocení degradace nátěrů dle ČSN EN ISO 4628 ( vzorky s řezem)

	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorazavění	Delaminace	Intenzita změn
<b>0 h expozice v korozní komoře</b>				
„OR“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0/0	0
„VR“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0/0	0
„OM“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0/0	0
„VM“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0/0	0
„ON“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0/0	0
„VN“	0 (S0)	Ri0 (S0)	0/0	0
<b>8 h expozice v korozní komoře</b>				
„OR“	1 (S2)	Ri0 (S0)	0/0	0
„VR“	1 (S2)	Ri1 (S2)	0/0	0
„OM“	1 (S2)	Ri1 (S2)	0/0	0
„VM“	1 (S2)	Ri1 (S2)	0/0	křídování okolo řezu 2
„ON“	1 (S2)	Ri1 (S2)	0/0	0
„VN“	1 (S2)	Ri1 (S2)	0/0	0
<b>24 h expozice v korozní komoře</b>				
„OR“	2 (S2)	Ri1 (S2)	1/0	0
„VR“	2 (S2)	Ri1 (S2)	1/0	0
„OM“	2 (S2)	Ri1 (S2)	1/0	křídování 2
„VM“	2 (S2)	Ri1 (S2)	1/2	křídování okolo řezu 2
„ON“	3 (S2)	Ri1 (S2)	1/0	0
„VN“	1 (S2)	Ri1 (S2)	1/0	0
<b>48 h expozice v korozní komoře</b>				
„OR“	3 (S2)	Ri2 (S2)	1/1	0
„VR“	2 (S2)	Ri2 (S2)	1/2	0
„OM“	3 (S2)	Ri3 (S2)	1/1	křídování 3
„VM“	2 (S2)	Ri1 (S2)	1/2	křídování okolo řezu 3
„ON“	3 (S2)	Ri2 (S2)	1/1	0
„VN“	1 (S2)	Ri1 (S2)	1/1	0
<b>72 h expozice v korozní komoře</b>				
„OR“	3 (S3)	Ri2 (S3)	2/2	0
„VR“	2 (S4)	Ri2 (S4)	3/3	0
„OM“	3 (S3)	Ri4 (S4)	2/1	křídování 3
„VM“	4 (S2)	Ri1 (S2)	2/2	křídování okolo řezu 3
„ON“	3 (S2)	Ri3 (S3)	2/3	0
„VN“	1 (S2)	Ri1 (S2)	2/1	0

## **9 HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK A DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ**

### **9.1 Hodnocení povrchu základního materiálu**

Jak již bylo zmíněno výše, jako experimentální materiál byl použit ocelový plech typu KOSMALT – E 300T, dodaný firmou VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s. Jedna sada vzorků byla dodána ve stavu otryskaném abrazivem 4VVD-4 měděnou struskou na stupeň na Sa 2 ½ a druhý typ ve stavu válcovaném. V diplomové práci se zabývám vhodnou předúpravou kovového substrátu pro aplikaci povlaku obsahující nanočástice. Mým úkolem bylo tedy prakticky porovnat 2 typy povrchů (otryskané abrazivem 4VVD-4 měděnou struskou a válcované) a zjistit, který z nich se nejlépe hodí jako podklad pod povlak obsahující nanočástice fosfátu zinku ZP10.

#### **9.1.1 Odmašťování a čistota**

Nejprve bylo nutno dodané vzorky odmastit. Odmašťování je důležitým prvkem podílejícím se na výsledku a v některých operacích je přímo klíčovým momentem. Odmaštění v ekologickém odmašťovacím prostředku Simple Green má velmi pozitivní význam na přilnavost zkoušených nátěrových systémů. Také množství zaprášení povrchu má vysoký vliv na snížení přilnavosti povrchu. Jak vzorky otryskané abrazivem 4VVD-4 měděnou struskou, tak vzorky válcované vykazovaly stejný stupeň zaprášenosti 1 a velikost prachových částic odpovídala třídě 2 (částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 µm a 100 µm v průměru)).

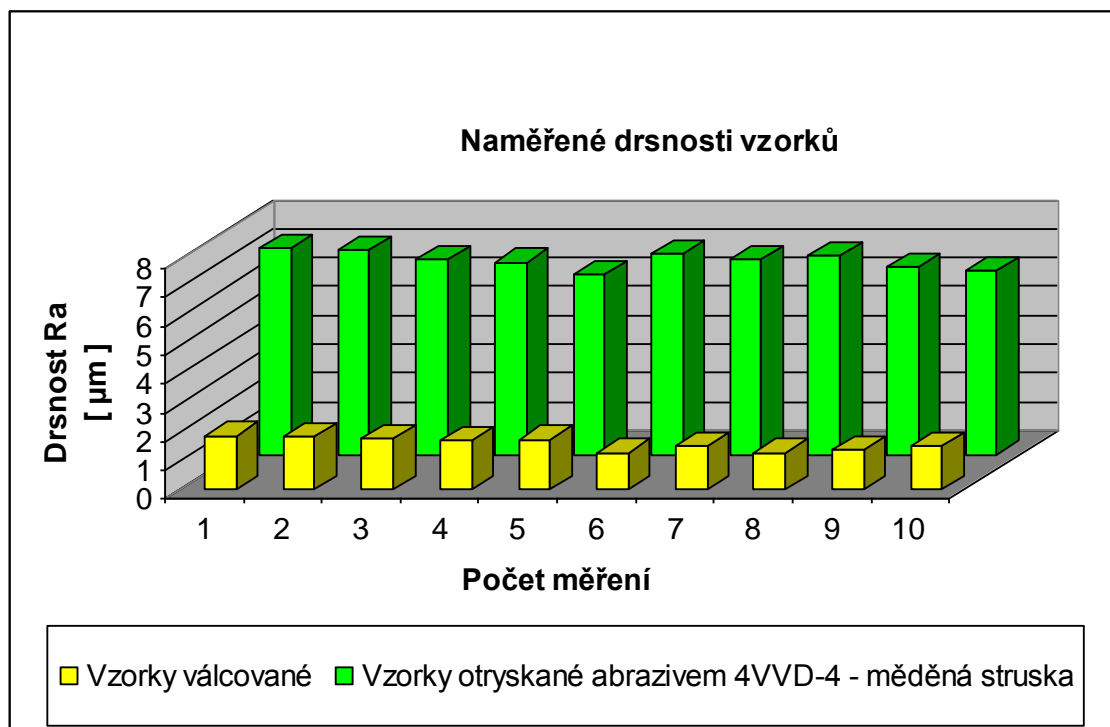
#### **9.1.2 Chemický rozbor povrchu vzorků**

Z pohledu hodnocení povrchu základního materiálu se jeví důležitý chemický rozbor povrchu vzorků. Ten byl zjištěn pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30 (SEM mikroskopie). Rozdíl u vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 měděnou struskou a vzorků válcovaných byl zásadní. Zatímco povrch vzorku válcovaného vykazoval pouze prvky Fe - 81,35 % a O - 18,65%, na povrchu otryskaném jsme našli zastoupení i dalších prvků. Jednalo se o Fe - 85,64%, O - 6,34 %, Si - 2,91%, Ca - 1,89%, Al - 1,89% a Mg - 1,34%.

Výskyt těchto prvků na otryskaném povrchu si můžeme vysvětlit následovně. Křemík (Si) a hliník (Al) jsou běžnou složkou prašného znečištění, která se běžně vyskytuje v atmosférickém prostředí. Přítomnost vápníku (Ca) může pravděpodobně svědčit o usazeninách vody. V chemickém rozboru otryskaného povrchu nebyla zjištěna přítomnost uhlíku (C). Tento fakt svědčí o tom, že se na povrchu nenacházejí zbytky organických materiálů (oleje, mazadla apod.). Na základě provedené analýzy lze konstatovat, že prvky detekované na otryskaném povrchu nám představují směs prašného znečištění s úsadami vody. Prašné znečištění může být také zapříčiněno vlivem otryskávacího média – měděné stusky.

### 9.1.3 Drsnost povrchu vzorků

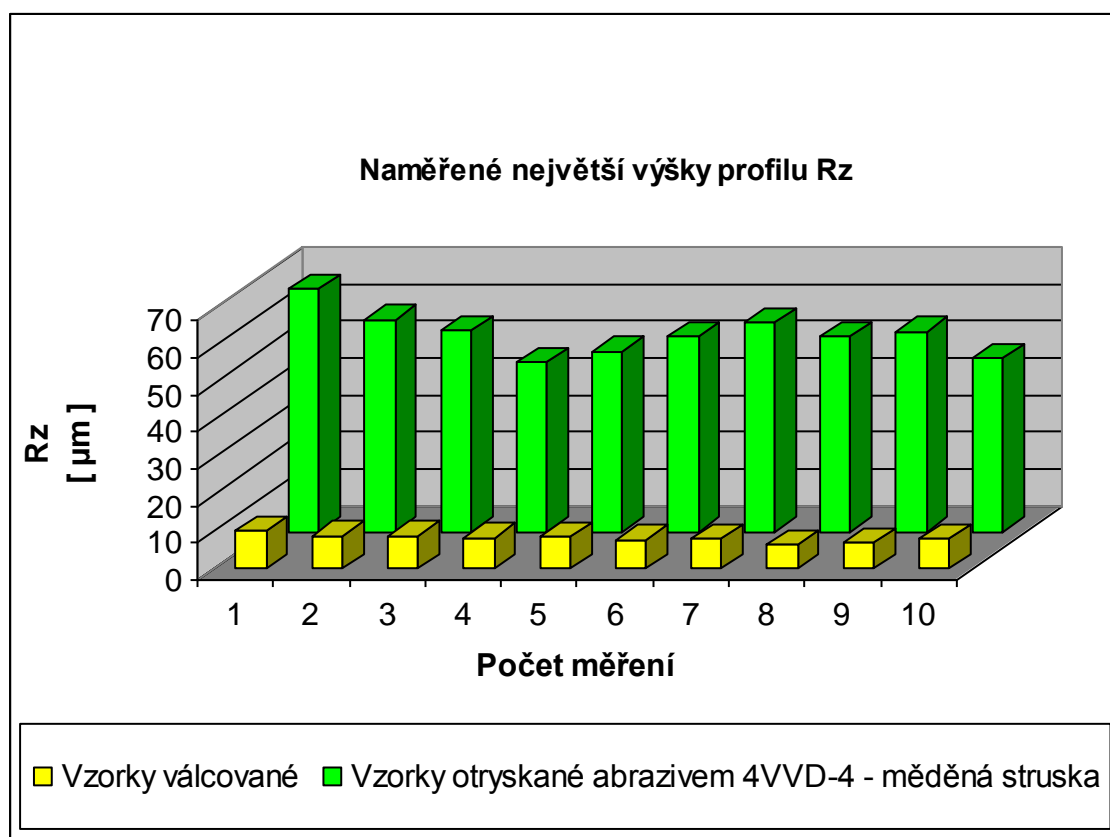
Důležitý aspekt při nanášení nátěrových systémů je tzv. drsnost povrchu. Pro přípravu povrchu pod nátěrový systém nebo jiný ochranný povlak je zapotřebí dosáhnout určité drsnosti. Přilnavost nátěrového systému k hladkému, lesklému povrchu bývá ve většině případů velmi malá. Ovšem ani příliš vysoká drsnost povrchu nemusí vést k dostatečné přilnavosti nátěrového systému a také může mít za následek snížení korozní odolnosti povrchu. V neposlední řadě nám vysoká drsnost může vést k větší spotřebě nátěrového systému.



Graf 1: Naměřené drsnosti povrchu vzorků

V grafu č.1 máme znázorněny naměřené drsnosti Ra u vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 měděnou struskou a vzorků válcovaných. Z grafu je patrné, že naměřená drsnost otryskaných vzorků je značně vyšší, než u vzorků válcovaných. Průměrná drsnost u otryskaných vzorků byla  $Ra = 6,75 \mu\text{m}$ . U válcovaných vzorků byla neměřená průměrná drsnost  $Ra = 1,57 \mu\text{m}$ .

Parametr drsnosti povrchu Ra bohužel neudává žádné informace o tvaru nerovností povrchu (při stejné hodnotě Ra se mohou povrchy lišit nejen tvarem, ale i maximální výškou mezi výstupky a prohlubněmi). Jinými slovy Ra nerozlišuje mezi výstupky a prohlubněmi. Praxe ukazuje, že je někdy vhodné a užitečné místo Ra využít parametru Rz, který nám udává součet výšky nejvyššího výstupku a hloubky nejhlubší prohlubně uvnitř základní délky  $l_r$ .



Graf 2: Naměřené maximální výšky nerovností povrchu vzorků ( parametr Rz )

Z grafu č.2 je patrné, že vzorky otryskané abrazivem 4VVD-4 – měděná struska mají až 6x vyšší naměřený parametr  $R_z$  než vzorky válcované. Průměrná hodnota u vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 měděná struska je  $R_z = 53,44 \mu\text{m}$ . U válcovaných vzorků byla neměřená průměrná hodnota  $R_z = 8,32 \mu\text{m}$ .

Z pohledu spotřeby nátěrového systému bude na vzorky otryskané abrazivem 4VVD-4 – měděná struska potřeba větší množství nátěru, než na vzorky válcované. Příčinu hledejme jak ve vyšší drsnosti povrchu, tak v poměrně vysoké naměřené hodnotě  $R_z$ . Nátěr musí být takové množství, aby se zakryly nejvyšší vrcholky nerovností na povrchu.

Dále jsme se při měření drsnosti povrchu vzorků zaměřili na parametry  $R_{sk}$  – šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) a  $R_{ku}$  – špičatost posuzovaného profilu. Tyto parametry nám popisují tvar křivky hustoty pravděpodobnosti.

#### **$R_{ku}$ – špičatost posuzovaného profilu [-]**

Udává ostrost ( $R_{ku} > 3$ ) nebo zaoblenost ( $R_{ku} < 3$ ) výstupků a rýh. U vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 – měděná struska se hodnota  $R_{ku}$  pohybuje v rozmezí od 3 do 5. Průměrná hodnota ze všech měření je  $R_{ku} = 4,39$ . To nám značí spíše ostrost výstupků a rýh na povrchu. Tato ostrost je pravděpodobně způsobena ostrohranným otryskávacím médiem – měděnou struskou. U vzorků válcovaných se hodnoty  $R_{ku}$  pohybují zhruba od 2 do 3. Průměrná hodnota ze všech měření je  $R_{ku} = 2,60$ . Tato hodnota nám poukazuje na zaoblenost výstupků a rýh na povrchu. Zaoblení může způsobovat samotná technologie válcování.

#### **$R_{sk}$ – šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) [-]**

Převažují-li hodnoty záporného charakteru pak povrch vykazuje dobré vlastnosti nosnosti profilu. Záporná šikmost ( $-R_{sk}$ ) vykazuje povrch s málo výstupky, které se rychle opotřebí, takže bude vhodný jako nosná plocha. Naopak u povrchu s kladnou hodnotou šikmosti ( $+R_{sk}$ ) lze předpokládat více výstupků, které mohou zvyšovat přilnavost v případě nanášení nátěrů nebo povlaků. U vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 měděnou struskou vyšla šikmost posuzovaného profilu  $R_{sk}$  záporná. Tento výsledek svědčí o dobré nosnosti profilu. U vzorků válcovaných vyšla šikmost posuzovaného profilu  $R_{sk}$  kladná. U válcovaného povrchu lze tedy předpokládat vyšší přilnavost nátěrového systému.

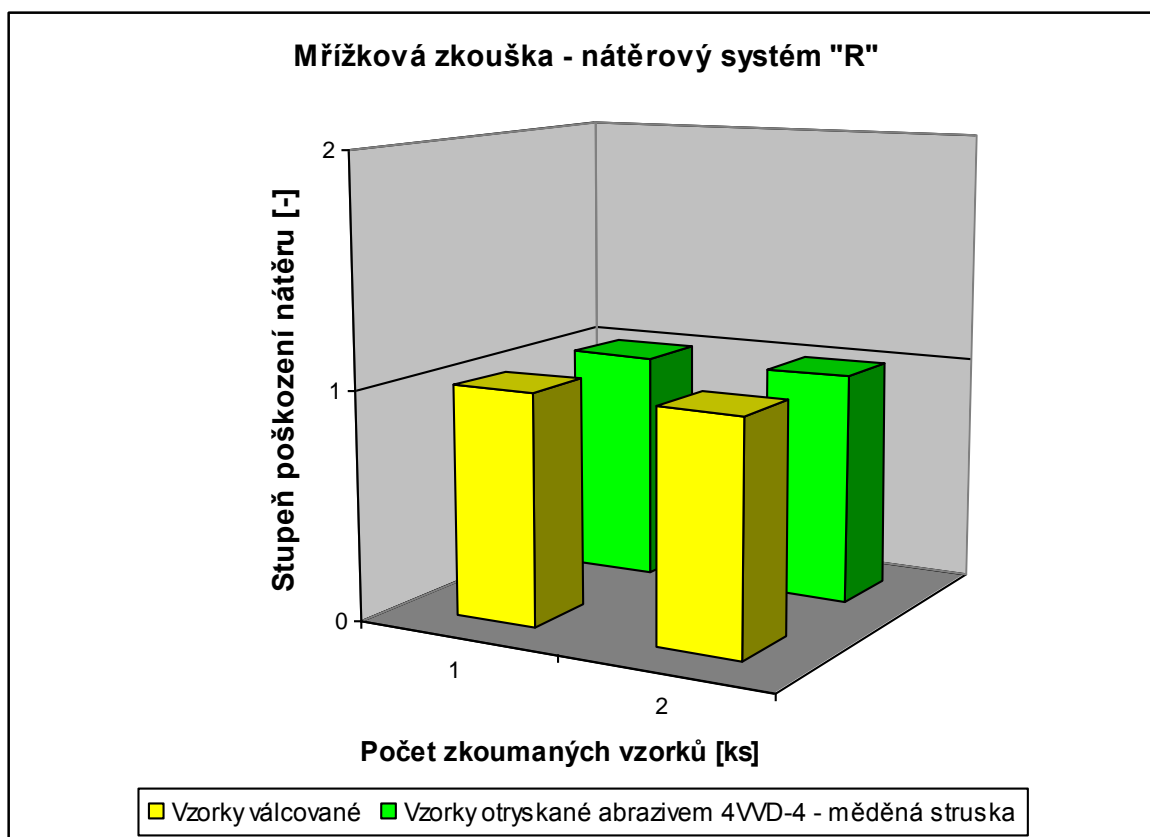
## 9.2 Hodnocení povlaků

Jak již bylo řečeno, pro experiment byly použity 2 typy vzorků. Jeden typ vzorků byl otryskán abrazivem 4VVD-4 měděnou struskou („O“) a druhý typ byl ve stavu válcovaném („V“).

Na takto připravené vzorky byly naneseny 3 druhy nátěrových systémů. První nátěrový systém byl klasický, na bázi alkydové pryskyřice („R“). Do dvou zbylých systémů byl jako pigment vmíchán fosforečnan zinečnatý nebo-li také fosfát zinku s označením ZP10. V jednom případě byly částičky pigmentu ve velikosti mikrometrů („M“), v druhém případě se velikost částic pohybovala v nanorozměrech („N“). Na vzorky byly naneseny vždy 2 vrstvy nátěrového systému.

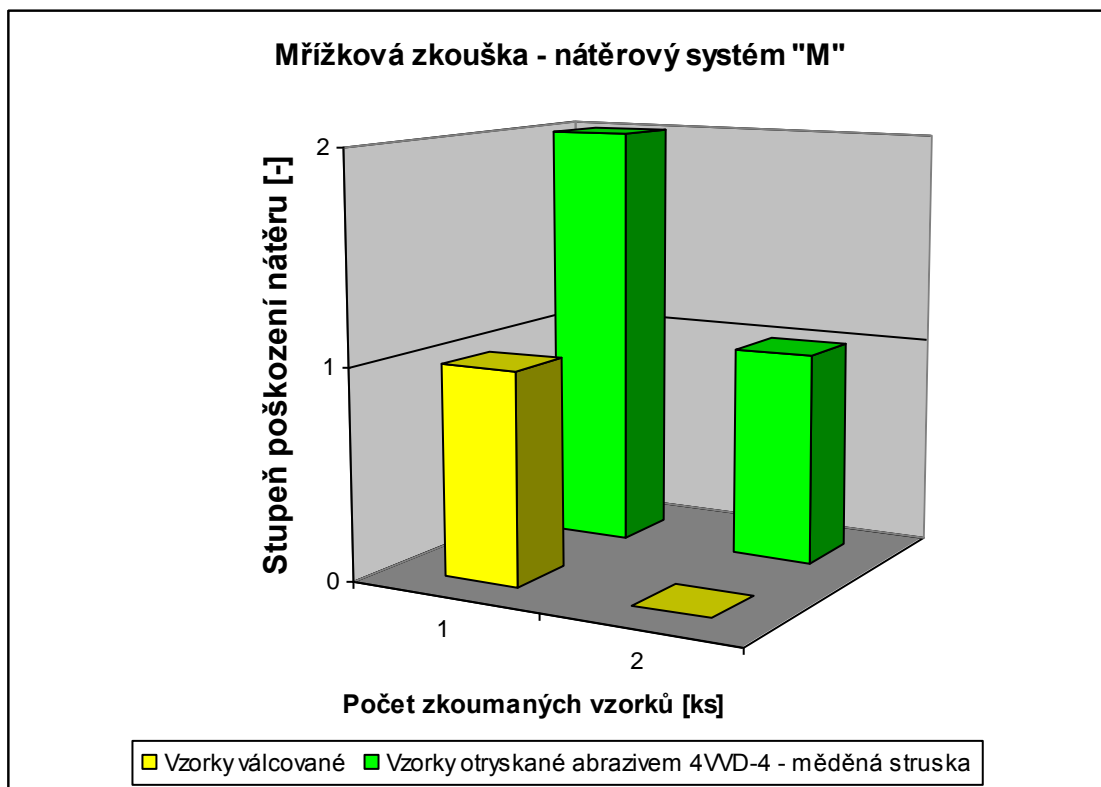
### 9.2.1 Mřížková zkouška

Tato zkouška nám určuje kvalitu adheze (přilnavosti) barvy k povrchu základního materiálu. Pro lepší srovnání byly výsledné hodnoty zaneseny do grafů.



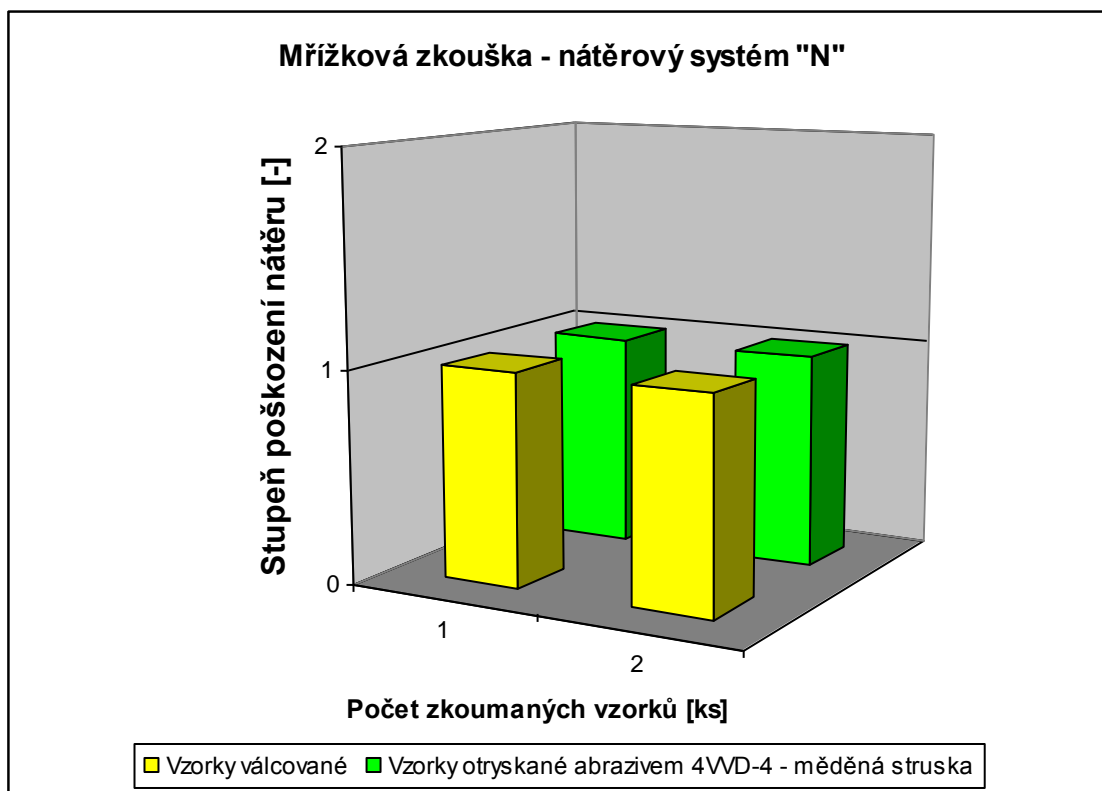
Graf 3: Vyhodnocení a porovnání mřížkové zkoušky pro nátěrový systém „R“

Na vzorky otryskané abrazivem 4VVD-4 měděná struska a na vzorky válcované byl nanesen nátěrový systém „R“, čili transparentní lak na bázi alkydové pryskyřice. Po vytvrzení nátěru byla provedena mřížková zkouška. U všech těchto vzorků byl vyhodnocen stupeň poškození nátěru jako **1** (viz graf 3), tedy nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží.



Graf 4: Vyhodnocení a porovnání mřížkové zkoušky pro nátěrový systém „M“

Vzorky natřené nátěrovým systémem „M“, tedy transparentním lakem na bázi alkydové pryskyřice s příměsí 11-15% fosfátu zinku ZP10 (v mikrometrech), byly taktéž podrobeny mřížkové zkoušce. Zatím co u vzorků válcovaných byla přilnavost k podkladu hodnocena stupni **0** a **1**, u vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 měděná struska byl v jednom případě stupeň poškození nátěru vyhodnocen jako **2** a ve druhém **1** (viz graf 4). Horší adheze může být zapříčiněna vlivem, již zmíněných zatryskaných zrn na otryskaném povrchu.



Graf 5: Vyhodnocení a porovnání mřížkové zkoušky pro nátěrový systém „N“

U vzorků natřených nátěrovým systémem typu „N“, tedy transparentním lakem na bázi alkydové pryskyřice s příměsí 11-15% fosfátu zinku ZP10 (v nanorozměru), vykazovala mřížková zkouška poměrně slušné výsledky. Jak je patrné z grafu 5, všechny vzorky vykazovaly po mřížkové zkoušce stupeň poškození nátěru **1**.



### 9.2.2 Korozní zkouška

Po provedených korozních zkouškách byl sledován charakter a rozsah korozního napadení. Z fotodokumentace vzorků (viz příloha č.2) je patrné, že vzorky s povrchem válcovaným, na které jsou nanесeny 3 druhy nátěrových systémů, vykazují lepší korozní odolnost, než vzorky otryskané abrazivem 4VVD-4 měděná struska, na něž byly také nanесeny tytéž 3 druhy nátěrových systémů.

#### **Zhodnocení vzorků bez řezu (po 72 h expozice v korozní komoře)**

Při hodnocení vzorků bez řezu nám po 72h expozice v korozní komoře vykazoval nejlepší výsledky nátěr typu „M“, transparentní lak na bázi alkydové pryskyřice s příměsí 11-15% fosfátu zinku ZP10 (v mikrometrech), aplikovaný na válcovaný povrch. Vzorek vykazoval minimální stupeň puchýřkování, které se objevovalo převážně v okolí ražby. Stejně tak i prorezavění bylo minimální a vyskytovalo se pouze v okolí ražby. Byla zde zaznamenána mírná, ale velmi zřetelně rozpoznatelná změna barevného odstínu, tzv. křídování. Nátěr typu „N“ vykazoval na válcovaném povrchu vyšší stupeň puchýřkování, které se objevovalo v malém počtu po celé ploše vzorku. Prorezavění se vyskytuje v ražbě a jejím okolí. Podobně se choval na stejném podkladu nátěr typu „R“, kdy vykazoval stejný stupeň puchýřkování a prorezavění v ražbě a jejím okolí. Defekt prorezavění byl ale větší a byl klasifikován na stupeň S4, čili defekt o rozměru 0,5 mm – 5 mm.

Vzorky otryskané abrazivem 4VVD-4 měděná struska vykazovaly po korozní zkoušce horší korozní odolnost, než vzorky válcované. Největší stupeň puchýřkování i prorezavění byl zaznamenán u nátěru typu „R“. Nátěry typu „M“ a „N“ vykazovaly stejné stupně puchýřkování i prorezavění. U nátěru typu „M“ byla opět zaznamenána mírná, ale velmi zřetelně rozpoznatelná změna barevného odstínu, tzv. křídování.

**Zhodnocení vzorků s řezem (po 72 h expozice v korozní komoře)**

U vyhodnocování degradace nátěrů u vzorků s řezem jsme také dospěli k výsledkům, že válcovaný povrch, na něj byly aplikovány jednotlivé nátěry se jeví jako podkladový materiál se znatelně lepší korozní odolností, než povrch otryskaný abrazivem 4VVD-4 měděná struska.

Nejlepší výsledky jsme shledali u již zmíněného válcovaného vzorku, na který byl nanesen nátěr typu „N“, tedy transparentní lak na bázi alkydové pryskyřice s příměsí 11-15% fosfátu zinku ZP10 (v nanorozměru). Tento vzorek vykazoval minimum puchýřků. Prorezavění se vyskytovalo v těsné blízkosti řezu, dále pak v nepatrném množství v ražbě. Delaminace, neboli ztráta přilnavosti povlaku byla zhodnocena stupněm 2, čili malá. Poměrně více puchýřků měl pak válcovaný vzorek s nátěrem typu „M“. Puchýřky se vyskytovaly v okolí řezu a ražby. Delaminace byla vyhodnocena opět stupněm 2. U tohoto vzorku se objevila mírná, ale zřetelně rozpoznatelná změna – křídování v okolí řezu. Válcovaný vzorek s nátěrem typu „R“ vykazoval znatelné puchýřky v okolí řezu. Zbývající plocha vzorku byla téměř bez korozního napadení. Patrné bylo pouze prorezavění v okolí ražby. Delaminace byla vyhodnocena stupněm 2.

U vzorků otryskaných abrazivem 4VVD-4 měděná struska vykazoval největší degradaci nátěru nátěr typu „M“. Na tomto vzorku se vyskytovalo nejvyšší procento prorezavění i puchýřků, oproti ostatním vzorkům. Projevuje se zde i bodová koroze mimo řez. U nátěru typu „N“ nebylo prorezavění tak značné a objevovalo se převážně v ražbě a jejím okolí. Stupeň delaminace byl u tohoto vzorku vyhodnocen vyšší než u ostatních vzorků. Taktéž se zde objevila bodová koroze mimo řez. Nátěr typu „R“ vykazoval stejné výsledky, jako nátěr typu „N“ s výjimkou delaminace v okolí řezu, která byla hodnocena stupněm 2 – malá.

## 10 ZÁVĚR

Ve své diplomové práci se zabývám studiem vlivu povrchové úpravy kovového substrátu pro aplikaci povlaku obsahující nanočástice. Nanotechnologie je vědní obor, který se čím dál více dostává do popředí. Bývá často nazývána další průmyslovou revolucí nebo technologií, která nahradí či změní všechny stávající technologie. Tento vědní obor se dotkl již celé řady oborů jako je např. elektrotechnický a automobilový průmysl, lékařství, stavebnictví, ale také strojírenství. S ním úzce souvisí technologie povrchového inženýrství, která je předmětem našeho zájmu.

Úkolem teoretické části bylo prostudovat charakter a vlastnosti povrchové vrstvy materiálu, prostudovat vhodné technologie úpravy substrátu před aplikací organických povlaků a v neposlední řadě prostudovat vlastnosti organického povlaku obsahující nanočástice. V souvislosti se složením organického povlaku je v teoretické části práce podrobně popsán fosforečnan zinečnatý, jeho vlastnosti a princip inhibičního efektu. Fosforečnan zinečnatý, nebo-li fosfát zinku ZP10, byl v experimentální části použit jako netoxický antikorozi pigment, který jsme vmíchali do nátěrového systému.

Úkolem experimentální části práce bylo porovnat dva rozdílné typy povrchů ocelového plechu KOSMALT – E 300T, které slouží jako podklad pro 3 různé druhy nátěrových systémů. Jeden typ vzorků byl dodán ve stavu otryskaném abrazivem 4VVD-4 měděná struska a druhý typ ve stavu válcovaném. Mým úkolem bylo tedy prakticky porovnat 2 typy povrchů (otryskané a válcované) a zjistit, který z nich se nejlépe hodí jako podklad pod aplikované povlaky, z nichž jeden obsahuje nanočástice fosfátu zinku.

Již při zjišťování chemického rozboru vykazoval otryskaný povrch horší vlastnosti než povrch válcovaný. Vyskytovaly se na něm prvky jako např. Si, Ca, Al a Mg, které nám značí mírné znečištění povrchu. Přítomnost zatryskaných zrn na povrchu může zapříčinit horší adhezi nátěrového systému. Válcovaný povrch vykazoval pouze zvýšené procento oxidů, které nám mohou ovlivnit životnost povlaku vlivem možného začínajícího korozního napadení.

Při hodnocení parametrů drsnosti vykazoval otryskaný povrch vyšších hodnot  $R_a$  i  $R_z$ , než povrch válcovaný. Z pohledu spotřeby nátěrového systému bude tedy na vzorky otryskané abrazivem 4VVD-4 – měděná struska potřeba větší množství nátěru, než na vzorky válcované, protože je nutné docílit toho, aby se zakryly nejvyšší vrcholky nerovností na povrchu. Problémem zde může být i skutečnost, že nátěr z vrcholků jednoduše steče do prohlubní a může nám odhalit nejvyšší vrcholky a způsobit rychlejší degradaci nátěrového systému.

Povlaky, aplikované na oba typy povrchů, mají sloužit jako krátkodobá ochrana ocelového podkladu. Dle návrhu výpočtu korozní odolnosti viz tab. 17, odpovídá 72h expozici v korozní komoře skutečnému koroznímu prostředí cca 1 rok. Z experimentální části týkající se korozní zkoušky v solné mlze vyplynulo, že jako podklad pro všechny 3 druhy nátěrových systémů je vhodnější povrch válcovaný. Nejlepších výsledků u vzorků s řezem vykazoval, již zmíněný, válcovaný povrch, který sloužil jako podklad pro nátěrový systém „N“ - tedy transparentní lak na bázi alkydové pryskyřice s příměsí 11-15% fosfátu zinku ZP10 (v nanorozměru). U vzorků bez řezu to byl nátěrový systém „M“ tedy transparentní lak na bázi alkydové pryskyřice s příměsí 11-15% fosfátu zinku ZP10 (v mikrometrech). Otryskaný povrch vykazoval v porovnání s válcovaným povrchem větší korozní napadení u všech druhů nátěrových systémů. Otryskaný povrch vykazuje spíše ostrost výstupků a rýh, naopak válcovaný povrch je spíše zaoblený.

Na základě dosažených výsledků v diplomové práci lze konstatovat, že jako podklad pod organický povlak klasický i plněný nanočásticemi, je vhodný válcovaný povrch.

---

## 11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty, VŠB – TU Ostrava, 1994, 1. vydání, 71s., ISBN 80-7078-235-8
- [2] PODJUKLOVÁ, J. *Komplexní systém krátkodobé a dlouhodobé antikorozní ochrany materiálů hutní produkce*. Ostrava, 2010. 89 s. Průběžná zpráva projektu ME 08083 za rok 2009 NANO - 07. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie 345, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba.
- [3] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB - TU Ostrava, 2006, 3. vyd. 156 s. ISBN 80-248-1217-7
- [4] FILIPOVÁ, M. *Studium vlivu povrchové úpravy podkladového materiálu na vlastnosti aplikovaných povlaků*, 2006, 63s., Vědecké spisy Fakulty strojní na VŠB – TU Ostrava, Edice: Autoreferáty disertačních prací, sv. 81.
- [5] ASHBY, M., JOHNSON, K. *Materials and Design – The Art and Science of Material Selection in Product Design*, Butterworth Heinemann, Italy, 2003, 336 s., ISBN 0–7506–554–2
- [6] KOLASINSKI, K., W. *Surface Science – Foundations of Catalysis and Nanoscience*, John Wiley & sons, England, 305 s., ISBN 0–471–49245–0
- [7] BUMBÁLEK, L.; BUMBÁLEK, B.: *Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu, Kvalita a Geometrické specifikace produktů*, Vol.1, (2005), No.1, pp.3, ISSN 1801-5352, VUT Brno.
- [8] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie, část 1*. Učební texty VŠB-TU Ostrava, 2008, 1.vyd. 112 s. ISBN 978-80-248-0671-6
- [9] KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2000. 174 s. ISBN 80-7082-668-1

- [10] DOBROVODSKÁ, L., PODJUKLOVÁ, J., HRABOVSKÁ, K., LANÍK, T., PELIKÁNOVÁ, K., MENŠIKOV, V. V.: *Vývojové trendy v použití ochranných povlaků*. 1. ročník konference s mezinárodní účastí Nanocon 2009. Rožnov pod Radhoštěm, říjen 2009, č. př. 89, ISBN 978-80-87294-12-3
- [11] CHALUPA, Ondřej. *Studium ochranných povlaků na bázi nanočástic*. Ostrava: 2009, 46 s. Diplomová práce na VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, katedra mechanické technologie, vedoucí bakalářské práce Podjuklová J.
- [12] ÁBEL, Milan ; BREZINOVÁ, Janette ; DRAGANOVSKÁ, Dagmar . *Vlastnosti povrchu přeupraveného tryskáním*. Transfer inovací. 2003, 6, s. 84-87
- [13] BREZINOVÁ, J., *Štúdium zmien vlastností otryskaného povrchu* . Transfer inovací. 2004, 7, s. 107-109
- [14] HALTMAR, Petr. *Studium úpravy povrchu před aplikací nátěrového systému*. Ostrava, 2007. 18 s. Soutěžní práce. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, katedra mechanické technologie.
- [15] MENTLÍK, V., Mezinárodní konference : Diagnostika `07. In STEINER, F.; HARANT , P. *Aplikace horkovzdušného předehřevu při testování pájitelnosti*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2007. s. 365-369
- [16] KUKAL, J., *Nanotechnologie : Principy řešení*. Automatizace. Listopad 2008, 51, 11, s. 696
- [17] POLEDNO, M.; KALEDOVÁ, A. *Antikorozní pigmenty pro ekologické nátěrové hmoty*. CHEMagazín. 2002, XII, 3, s. 10-12. ISSN 1210-7409
- [18] PETRÁŠEK, M.; KALENDA, P. *Studium synergického efektu citronanu vápenatého a zinečnatého s ortofosforečnanem zinečnatým v modelových antikorozních nátěrových hmotách*. CHEMagazín. 2002, XII, 5, s. 10-13. ISSN 1210-7409

- [19] KALEDOVÁ, A., et al. *Pigmenty a plniva pro úpravu antikoročních vlastností nátěrových hmot*. CHEMagazín. 2005, XV, 1, s. 24-27. ISSN 1210-7409
- [20] BENEŠOVÁ, J., *Ochrana ocelových konstrukcí*. POVRCHOVÁ ÚPRAVA. 2006, III, 1, s. 1-11. ISSN 1801-707X
- [21] BOREK, J. *Moderní technologie průmyslového čištění*. MM Průmyslové spektrum. 2002, 10, s. 43. ISSN 1212-2572
- [22] ČSN EN ISO 8501-1 : *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - vizuální hodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Praha : Český normalizační institut, Listopad 2007. 16 s.
- [23] ČSN ISO 8502-3 : *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání*. Praha : Český normalizační institut, Srpen 1999. 12 s.
- [24] ČSN EN ISO 4287 : *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – struktura povrchu: Profilová metoda – termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha : Český normalizační institut, Březen 1999. 22 s.
- [25] ČSN EN ISO 2808 : *Nátěrové hmoty – stanovení tloušťky nátěru*. Praha : Český normalizační institut, Říjen 2007. 40 s.
- [26] ČSN EN ISO 2409 : *Nátěrové hmoty - mřížková zkouška*. Praha : Český normalizační institut, Říjen 2007. 16 s.

- 
- [27] ČSN EN ISO 16276-2 : *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – hodnocení a kritéria přijetí adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha : Český normalizační institut, Leden 2008. 16 s.
- [28] ČSN EN ISO 9227 : *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – zkoušky solnou mlhou*. Praha : Český normalizační institut, Březen 2007. 24 s.
- [29] ČSN EN ISO 4628-1: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 1: Obecný úvod a systém klasifikace*. Praha : Český normalizační institut, Duben 2004. 7 s.
- [30] ČSN EN ISO 4628-2: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Praha : Český normalizační institut, Duben 2004. 15 s.
- [31] ČSN EN ISO 4628-3: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prorezavění*. Praha : Český normalizační institut, Duben 2004. 19 s.
- [32] ČSN EN ISO 4628-8: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu*. Praha : Český normalizační institut, Listopad 2005. 11 s.



**Elektronické zdroje:**

- [33] Katedra strojírenské technologie technické univerzity v Liberci [online]. 2010 [cit. 2010-02-20]. *Povrchy povlaků - mikrogeometrie*. Dostupné z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/povrchy%20povlaku.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/povrchy%20povlaku.pdf)>.
- [34] 1.TOUŠEŇSKÁ S.R.O. [online]. 2010 [cit. 2010-02-20]. *Mechanické úpravy povrchu tryskáním*. Dostupné z WWW: <<http://www.1tousenska.cz/sluzby.php?sub=7>>.
- [35] Kovobrasiv mníšek, spol. s r.o. [online]. 2010 [cit. 2010-02-20]. *Ocelové drtě - technické parametry*. Dostupné z WWW: <[http://www.kovobrasiv.cz/cz/3prod\\_od.html](http://www.kovobrasiv.cz/cz/3prod_od.html)>.
- [36] I.D.D. abrasive s.r.o. [online]. 2010 [cit. 2010-02-20]. *Výroba ocelových a litinových granulátů*. Dostupné z WWW: <<http://idda.cz/oceloved.htm>>.
- [37] Sand System [online]. 2010 [cit. 2010-02-25]. *Křemičité písky přírodní*. Dostupné z WWW: <<http://www.sandsystem.cz/vyrobky/kremicite-pisky-prirodni/>>.
- [38] Wikipedie-otevřená encyklopedie [online]. 2010 [cit. 2010-02-25]. *Carbon black*. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Carbon\\_black.jpg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Carbon_black.jpg)>.
- [39] Dům a byt [online]. 2010 [cit. 2010-02-25]. *Pryč s korozí*. Dostupné z WWW: <[http://www.dumabyt.cz/rubriky/dum/materialy-a-technologie/pryc-s-korozi\\_18201.html](http://www.dumabyt.cz/rubriky/dum/materialy-a-technologie/pryc-s-korozi_18201.html)>.
- [40] CHEDO.cz [online]. 2010 [cit. 2010-02-25]. *Vady nátěrů projevující se při zasychání*. Dostupné z WWW: <<http://www.chedo.cz/kat/Vady-nateru-projevujici-se-pri-zasychani-441/>>.

- [41] Mobihel.cz [online]. 2010 [cit. 2010-02-25]. *Car refinishing*. Dostupné z WWW: <<http://www.mobihel.sk/img/zpl/01-022.jpg>>.
- [42] Centrum VAN [online]. 2010 [cit. 2010-02-25]. *Miniaturní bojovníci proti špíně*. Dostupné z WWW: <[http://www.elabs.com/van/evo-nanosvet\\_a\\_nase\\_telo-nebylo-nesmrtelne.htm](http://www.elabs.com/van/evo-nanosvet_a_nase_telo-nebylo-nesmrtelne.htm)>.
- [43] Baunit.com [online]. 2010 [cit. 2010-02-25]. *Nanotechnologie* . Dostupné z WWW: <[http:// www.baunit.com](http://www.baunit.com) >.

## **12 SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1 – Materiálový list oceli KOSMALT – E 300T

Příloha č. 2 – Fotodokumentace vzorků s nátěry po korozní zkoušce

Příloha č. 3 – Klasifikace korozního prostředí

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych vyjádřit poděkování zaměstnancům VŠB-TU Ostrava, kteří se na diplomové práci jakýmkoliv způsobem podíleli. Především chci poděkovat Ing. Lence Dobrovodské za materiální a technickou pomoc při experimentální části této práce.

Zvláštní poděkování patří vedoucí diplomové práce, paní doc. Ing. Jitce PODJUKLOVÉ, CSc., za odborné vedení, cenné rady a připomínky při její tvorbě.